НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА ЛІТЕРАТУРА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра світлотехніки та електротехніки

М Е Т О Д И Ч Н І В К А З І В К И
до виконання лабораторних робіт

з дисципліни

СВІТЛОТЕХНІЧНІ УСТАНОВКИ ТА СИТЕМИ

для студентів напряму підготовки
6.050701 – Електротехніка та електротехнології
та спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Тернопіль, 2017

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Світлотехнічні установки та системи” для студентів напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: Я.М. Осадца. – Тернопіль: ТНТУ 2015 – 58 с.

Укладач: к.т.н., доцент кафедри Осадца Я.М.

Рецензент: к.т.н., доц. Костик Л.М.

Відповідальний за випуск: Осадца Я.М.

Зміст

Лабораторна робота № 1
Розрахунок освітлювальної установки за методом коефіцієнта використання 6
Лабораторна робота № 2
Розрахунок прямої складової освітленості точкових випромінювачів із симетричним світлорозподілом 11
Лабораторна робота № 3
Розрахунок прямої складової освітленості від лінії, що світить 16
Лабораторна робота № 4
Розрахунок освітлювальних установок зовнішнього освітлення 19
Лабораторна робота № 5
Розрахунок прожекторного освітлення 24
Лабораторна робота № 6
Перевірка освітлювальних установок на відповідність регламентованим значенням показника дискомфорту 26
Лабораторна робота № 7
Дослідження установки вуличного освітлення 29
Лабораторна робота № 8
Дослідження коефіцієнта використання світлового потоку 32
Лабораторна робота № 9
Розрахунок електричної освітлювальної мережі по втраті напруги 37
Лабораторна робота № 10
Розрахунок електричної освітлювальної мережі на мінімум провідникового матеріалу 41
Лабораторна робота № 11
Розрахунок електричної освітлювальної мережі по струму навантаження 43
Лабораторна робота № 12
Розрахунок споживання електричної енергії освітлювальною установкою 45
Лабораторна робота № 13
Дослідження ефективності освітлювальної установки приміщення 47
Лабораторна робота № 14
Дослідження ефективності природного освітлення 51
Література 56

Лабораторна робота № 1

Розрахунок освітлювальної установки за методом коефіцієнта використання

Мета роботи: Проведення світлотехнічного розрахунку освітлювальної установки за допомогою методу коефіцієнта використання.

Теоретичні відомості

Мета розрахунку освітлювальних установок (ОУ) полягає у визначенні числа і потужності джерел світла, які забезпечать нормовану (з коефіцієнтом запасу) освітленість, або визначення по заданому розміщенню світильників і потужності джерел світла, освітленості, яка створюється на робочих або умовно робочих поверхнях.

Робочою поверхнею при цих розрахунках слід приймати таку, на якій проводиться робота. Під умовною робочою поверхнею розуміють горизонтальну поверхню, розміщену на висоті 0,8 м від підлоги.

Освітленість на робочій поверхні створюється світловим потоком, який поступає безпосередньо від світильників (пряма складова освітленості $E_{пр}$) і відбитим, падаючим на розрахункову поверхню в результаті багатократних відбивань від стін, стелі, підлоги (відбита складова $E_{в}$).

Пряма складова освітленості розраховується на основі кривої сили світла світильника і розміщення світильника відносно вибраної точки. Тому її значення на окремих ділянках робочої поверхні будуть різними.

Відбита складова $E_{в}$ визначається світловим потоком, що падає на відбиваючі поверхні, відбиваючими властивостями оточуючого середовища, а також розмірами приміщення.

Багатократні відбивання світлового потоку створюють відносно рівномірний розподіл відбитої складової.

Розрахунок ОУ з одночасним врахуванням прямої і відбитої складової є найбільш простим, якщо розподіл світлового потоку по розрахунковій площині близький до рівномірного. Ця умова забезпечується в тих випадках коли фактичне розміщення світильників є оптимальним або близьким до оптимального. В цьому випадку можна говорити про середню освітленість розрахункової площини і ввести поняття коефіцієнта використання освітлювальної установки, під яким розуміють відношення світлового потоку, який падає на розрахункову площину, до світлового потоку джерел світла:

$$U_{ОУ} = \frac{\Phi_{р}}{n \cdot \Phi_{Л}} \qquad (1.1)$$

де n – кількість джерел; $\Phi_{р}$ – світловий потік, який падає на розрахункову площину; $\Phi_{Л}$ – світловий потік джерела.

Коефіцієнт використання ОУ, який характеризує ефективність використання світлового потоку джерел, визначається світлорозподілом і розміщенням світильників, а також співвідношенням розмірів приміщення і відбиваючими властивостями його поверхонь.

Розроблено (прораховано) залежності коефіцієнта використання ОУ від індекса приміщення, який визначається наступним співвідношенням:

$$i = \frac{a \cdot b}{h_p (a + b)} \tag{1.2}$$

де a і b – довжина і ширина приміщення.

Висота h_p може бути розрахована за формулою

$$h_p = h - h_3 - h_{pn}, \tag{1.3}$$

де h – висота приміщення, h_3 – відстань від перекриття до світильника, h_{pn} – висота розрахункової поверхні над підлогою.

Для підвісних світильників $h_3 = 0,3 \ldots 0,5$ м, а для плафонів і убудованих світильників $h_3 = 0,2$ м. Висота звісу може бути і більшою 0,5 м, але в цьому випадку світильники необхідно встановлювати на жорстких підвісках, що не допускають їхнього розкачування.

Для приміщень необмеженої довжини можна вважати $i = \frac{b}{h_p}$.

При збільшенні індекса приміщення спостерігається збільшення коефіцієнта використання освітлювальної установки, що пояснюється збільшенням світлового потоку, безпосередньо падаючого від світильників, на розрахункову площину зі зменшенням висоти підвісу при незмінній площі приміщення.

Криві складаються для різних значень коефіцієнтів відбивання і наглядно ілюструють значний вплив коефіцієнтів відбивання обмежуючих поверхонь. Чим більші коефіцієнти відбивання, тим більший коефіцієнт використання ОУ, так як при цьому зменшуються втрати світлового потоку при багаторазових відбиваннях.

При відомому коефіцієнті використання ОУ середню освітленість можна визначити з наступного рівняння:

$$E_{ср} = \frac{\Phi_p}{S_p \cdot k} = \frac{n \cdot \Phi_Л \cdot U_{ОУ}}{S_p \cdot k} \tag{1.4}$$

де S_p – площа розрахункової поверхні; k – коефіцієнт запасу.

Рівняння (1.4) широко використовується для вирішення оберненої задачі – визначення світлового потоку джерел світла, необхідного для створення заданої середньої освітленості. Тоді одержимо:

$$\Phi_{Л} = \frac{E_{ср} \cdot S_p \cdot k}{n \cdot U_{ОУ}} \qquad (1.5)$$

В зв'язку з тим, що нормування штучного освітлення проводиться по мінімальному значенню освітленості, а не по середньому, а також враховуючи нерівномірність розподілу світлового потоку вводять спеціальний нормуючий коефіцієнт z, який представляє собою відношення середньої освітленості до мінімальної: $z = E_{ср} / E_{\min}$. Числове значення цього коефіцієнта залежить від багатьох змінних і залежить від відношення віддалі між світильниками до висоти підвісу, зі збільшенням якого вище рекомендованих значень z різко зростає ($z = 1{,}15$ для ЛР і ДРЛ, $z = 1{,}1$ для ЛЛ).

З врахуванням коефіцієнту z світловий потік джерел світла, необхідний для створення нормованої освітленості, визначається за формулою:

$$\Phi_{Л} = \frac{E_{\min} \cdot S_p \cdot k \cdot z}{n \cdot U_{ОУ}} \qquad (1.6)$$

По розрахунковому значенню світлового потоку і напрузі електричної мережі вибирають найближчу стандартну лампу, потік якої не повинен відрізнятись більше ніж на (–10…+20%). При неможливості знайти таку лампу коректується число світильників *n*. При розрахунку ОУ зі стандартними світильниками $U_{ОУ}$ визначають з таблиць.

Порядок розрахунку ОУ за методом використання світлового потоку наступний:

1. Знаходять індекс приміщення по формулі (1.2).
2. По таблицях знаходиться коефіцієнт використання ОУ.
3. Після цього визначається світловий потік за формулою (1.6).
4. Підбирається найбільш підходяще джерело світла.
5. Визначаємо фактичну освітленість.

Щоб спростити і цей розрахунок Кноррінгом розроблено спосіб розрахунку по питомій потужності. Питома потужність освітлення визначається відношенням сумарної потужності ламп до освітлюваної площі. Цей метод дає наближене, але дуже просте вирішення задачі.

Введемо наступні показники: p – потужність однієї лампи, Вт; w – питома потужність, Вт/м^2; η – світлова віддача, лм/Вт. Звідси світловий потік ламп

$$\Phi_{Л} = \frac{E_{\min} \cdot S_p \cdot k \cdot z}{n \cdot U_{ОУ}} = \eta \cdot p, \qquad (1.7)$$

звідси питома потужність

$$w = \frac{n \cdot p}{S_p} = \frac{E_{\min} \cdot k \cdot z}{\eta \cdot U_{OУ}}. \qquad (1.8)$$

При використанні цього методу дозволяється для ламп на 127 В використовувати а таблиці для ламп на 220 В, при цьому дані слід перемножити на коефіцієнт 0,86.

Для люмінесцентних ламп таблиці складені для освітленості 100 лк, так як є прямопропорційна залежність між освітленістю і питомою потужністю. Те ж саме відноситься і до ламп типу ДРЛ.

При складанні таблиць питомої потужності не враховується форма приміщень, а тому індекс можна визначити:

$$i = 0,48 \cdot \sqrt{\frac{S_p}{h_p}}. \qquad (1.9)$$

Порядок використання таблиць наступний:

1. Вибирають всі параметри ОУ в тому числі і кількість світильників.

2. По відповідній таблиці вибирають питому потужність w і потім визначають одиничну потужність ламп.

Масовий характер розрахунків по методу коефіцієнта використання привів до появи ряду прийомів, які спрощують розрахунки. Разом з тим всі спрощені методи пов'язані з неминучим хоча і допустимим зменшенням точності розрахунків, а також із збільшенням необхідної кількості довідкових таблиць.

Для прискореного визначення індексу приміщень використовується таблиця запропонована І.С.Дубінкіним. Більшість спрощених способів визначення числа і потужності світильників виходять із нехтування формою приміщення.

Найбільше застосування одержали таблиці питомої потужності Кноррінга. Для кожного заданого приміщення при вибраній освітленості і типу світильника існує точне рішення задачі освітлення. Цьому точному рішенню відповідає певне значення питомої потужності і якщо вибрати число і потужність світильників так, щоб фактична питома потужність була найбільш можливим наближенням до теоретичного значення, то задача буде вирішена з достатньою точністю.

Таблиці питомої потужності і містять її теоретичні значення, але для забезпечення відносної компактності таблиць ці значення приходиться приймати незмінними в межах визначених інтервалів висоти h і площі S. Границі інтервалів вибираються з таким розрахунком щоби від одного інтервалу до другого значення w змінювалось в середньому на 20%, чим в основному і визначається похибка методу.

Паспортними даними таблиць є тип світильника, а також значення коефіцієнтів запасу, нерівномірності освітлення, відбивання стелі, стін та підлоги.

Форма таблиць і методика таблиць може бути трохи різною для різних джерел світла. В ряді випадків можуть бути побудовані допоміжні криві $w = f(S)$, по яких прораховуються і заносяться в таблиці значення w для середин прийнятих інтервалів площі.

Зазвичай при розрахунку освітлення по питомій потужності задаються всіма параметрами установки і числом світильників N, по таблиці знаходять w і вибирають потужність лампи наближену до визначеної з виразу (1.7).

Порядок виконання роботи

1. Згідно останньої цифри залікової книжки вибрати приміщення з таблиці 1.1.
2. Для даного приміщення встановити нормовану освітленість згідно ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення» [1] вибрати можливі для застосування джерела світла, світлові прилади та нормовану освітленість.
3. По даним каталогів вибрати джерела світла потоком та світлові прилади із відомим світлорозподілом.
4. Використовуючи формули (1.2) та (1.3) розрахувати індекс приміщення.
5. По розрахованому індексу приміщення для коефіцієнтів відбивання відповідно стелі, стін та підлоги 0,7; 0,5 та 0,3 із таблиці П4.1 на сторінці 240 [2] вибрати коефіцієнт використання світлового потоку.
6. На основі формули (1.6) розрахувати кількість світлових приладів, які необхідні для забезпечення нормованої освітленості.

Таблиця 1.1

Остання цифра залікової книжки	Призначення приміщення	Довжина приміщення, м	Ширина приміщення, м	Висота приміщення, м
0	Лікарняна палата	6	4	4
1	Читальний зал	15	10	5
2	Лекційна аудиторія	20	15	5
3	Офісне приміщення	8	8	4
4	Комп’ютерний клас	10	8	4
5	Спортивний зал	40	20	6
6	Коридор	40	4	5
7	Санвузол	4	4	3,5
8	Стоматологічний кабінет	6	6	4
9	Плавальний басейн	25	20	6

Контрольні запитання

1. В чому полягає мета розрахунку освітлювальних установок?
2. Що таке робоча поверхня та умовна робоча поверхня?
3. На основі чого визначається пряма складова освітленості?

4. Чим визначається відбита складова освітленості?

5. Що таке коефіцієнт використання світлового потоку?

6. Від чого залежить коефіцієнт використання світлового потоку?

7. Що таке індекс приміщення?

8. Як змінюється коефіцієнт використання в із збільшенням коефіцієнтів відбивання стелі, стін та підлоги?

Лабораторна робота № 2
Розрахунок прямої складової освітленості точкових випромінювачів із симетричним світлорозподілом

Мета роботи: Розрахунок за допомогою точкового методу прямої складової освітленості від точкових випромінювачів із симетричним світлорозподілом.

Теоретичні відомості

Освітленість на робочій поверхні створюється світловим потоком, який поступає безпосередньо від світильників (пряма складова освітленості $E_{пр}$) і відбитим, падаючим на розрахункову поверхню в результаті багатократних відбивань від стін, стелі, підлоги (відбита складова $E_в$).

Пряма складова освітленості розраховується на основі кривої сили світла світильника і розміщення світильника відносно вибраної точки. Тому її значення на окремих ділянках робочої поверхні будуть різними.

В залежності від співвідношення розміру світних елементів і віддалі їх до поверхонь, які освітлюються, їх можна розділити на три групи: точкові, лінійні і поверхні, що світять.

Точковість світного елемента звичайно визначається по його відносних розмірах у відношенні до віддалі освітлюваної поверхні. На практиці прийнято рахувати світне тіло точковим, якщо його розміри не перевищують 0,2 віддалі до точки в просторі, яку освітлюють. Тому в практиці розрахунків точковий світловий прилад приймають за світлову точку з умовно вибраним світловим центром, який характеризується силою світла по вихідних напрямках.

До точкових світлових елементів відносяться: прожектори, СП з лампами розжарення, ДРЛ, МГЛ, НЛВТ, НЛНТ і т.д.

Положення СП, який має вісь симетрії точковий елемент, відносно розрахункової точки в загальному випадку визначається наступними координатами (рис. 2.1).

h_p – висотою розміщення СП відносно розрахункової площини;

α – кутом, який визначає напрям сили світла в розрахункову точку.

СП, який знаходиться на віддалі, співрозмірній з його розмірами не можна розглядати як точковий. Світлорозподіл такого світильника

визначається не кривою сили світла, а кривими рівної освітленості в розрахунковій площині.

Під світлорозподілом світлового випромінювача розуміється характеристика, яка визначає розподіл світлового потоку в просторі, навколо світлового випромінювача. Світловий розподіл світлового приладу обумовлений формою фотометричного тіла та описується кривими силами світла. При цьому фотометричним тілом є геометричне місце кінців радіусів-векторів, які виходять з центру світлового приладу, та їх довжина є пропорційна силі світла приладу у відповідному напрямку. Крива сили світла характеризує залежність сили світла світлового приладу від меридіальних та екваторіальних кутів, які отримуються січенням фотометричного тіла.

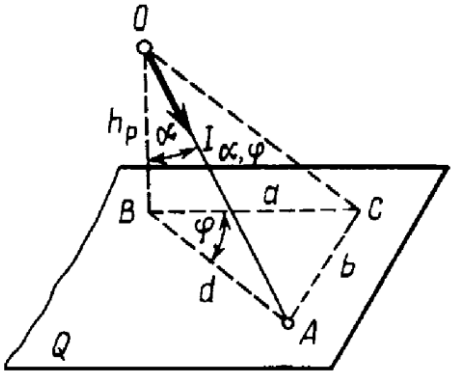


Рис. 2.1. Координати, що визначають положення точкового світного елементу відносно розрахункової точки

В залежності від форми фотометричного тіла освітлювальні прилади поділяються на симетричні та несиметричні (рис. 2.2).

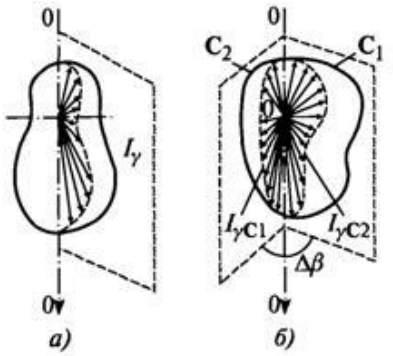
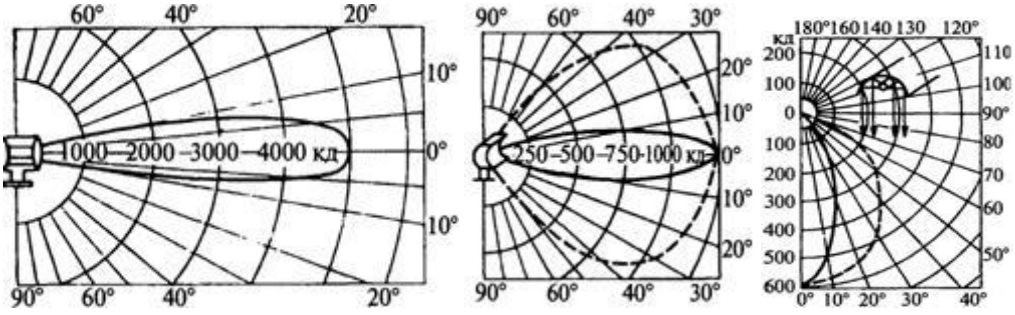


Рис. 2.2. Симетричні (а) та несиметричні фотометричні тіла

До симетричних світильників відносяться (рис. 2.3):

- осесиметричні світлові прилади (рис. 2.3а);
- світильники, фотометричне тіло яких має вісь симетрії та концентрує світловий потік в конусі (рис. 2.3б);
- світлові прилади, які направляють світловий потік достатньо рівномірно в межах нижньої півсфери (рис. 2.3в).



а) б) в)

Рис. 2.3. КСС світильників із симетричним світлорозподілом

До симетричних світлових приладів відносяться, наприклад, світильники, які мають дві площини симетрії з лінійними лампами (ЛЛ, ксеноновими, ГЛР) й прожектори з лінійними лампами, які концентрують світловий потік, і також світлові прилади, що мають одну площину симетрії типу «кососвет».

Для загального випадку розрахунку освітленності від світильників з симетричним світлорозподілом (рис. 2.4), який характеризується залежністю $I_\alpha = f\ \alpha$ пряма складова освітленості точки *A* буде розраховуватись за формулою:

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_p^{\,2}} (\cos\theta \pm \frac{p}{h_p} \sin\theta), \qquad (2.1)$$

де I_α – сила світла в напрямку точки *A*; θ – кут нахилу розрахункової площини по відношенню до площини, перпендикулярної осі симетрії світильника (горизонтальна площина); α – кут між напрямом сили світла до розрахункової точки і віссю симетрії світильника; h_p– висота світильника над горизонтальною площиною, яка проходить через розрахункову точку; *p* – найкоротша віддаль від проекції осі симетрії світильника на горизонтальну площину, яка проходить через точку розрахунку, до сліду перетину з розрахунковою площиною.

В виробничих і суспільних приміщеннях прийнято розміщати світильники так, що їх вісь симетрії розміщується вертикально, перпендикулярно розрахунковій горизонтальній площині. Для даного випадку освітленість точки *A* в горизонтальній площині

$$E_{Aг} = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h_p^{\,2}}. \qquad (2.2)$$

При осі симетрії світильника, паралельній розрахунковій площині, освітленість точки *A* в вертикальній площині

$$E_{Aв} = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h_p^{\,2}} \cdot \frac{p}{h_p} = E_{Aг} \cdot \frac{p}{h_p}. \qquad (2.3)$$

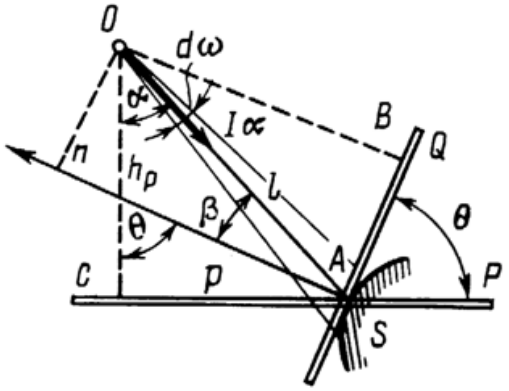


Рис 2.4. Дані для розрахунку освітленості від точкового світного елемента з симетричним світлорозподілом

Порядок виконання роботи

1. Згідно останньої цифри залікової книжки вибрати приміщення з таблиці 2.1.

2. Для даного приміщення встановити нормовану освітленість згідно ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення» [1] вибрати можливі для застосування джерела світла, світлові прилади та нормовану освітленість, а також коефіцієнт запасу та висоту робочої поверхні.

3. По даним каталогів вибрати джерела світла із відомим світловим потоком та світлові прилади із відомим світлорозподілом.

4. Розрахунок провести при чотирьох однакових світильниках. Розташування світильників та розрахункової точки показані на рис. 2.5.

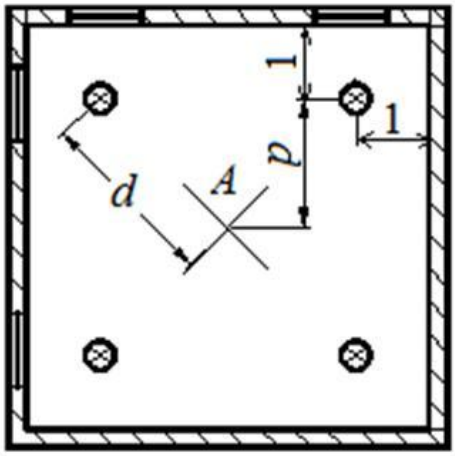


Рис. 2.5. Схема розташування світлових приладів та розрахункової точки

5. Розрахувати кут α, виходячи з формули $tg\alpha = \frac{d}{h_p}$.

6. З КСС світильника знайти силу світла під кутом α для вибраного типу світильника з умовною лампою $I_{\alpha 1000}$. Фактичну силу світла розрахувати за формулою:

$$I_\alpha = I_{\alpha 1000} \frac{\Phi_л}{1000},$$

де $\Phi_л$ – світловий потік світильника.

7. За формулами (2.2), (2.3) та (2.1) розрахувати освітленості точки *A* від одного світильника в горизонтальній, вертикальній та площині, нахиленій під кутом *Θ*. Значення кута *Θ* взяти з таблиці 2.1.

8. За формулою $\sum E_A = 4\ E_A$ розрахувати значення освітленостей точки *A* в горизонтальній, вертикальній та площині, нахиленій під кутом *Θ* від чотирьох світильників, розташованих симетрично навколо точки *A*.

9. У висновках провести порівняння значень освітленостей точки *A*, отриманих за допомогою розрахунку з нормативними значеннями, взятими із [1].

Таблиця 2.1.

Остання цифра залікової книжки	Призначення приміщення	Довжина приміщення, м	Ширина приміщення, м	Висота приміщення, м	Θ, град
0	Лікарняна палата	6	6	4	30
1	Читальний зал	10	10	5	60
2	Навчальна аудиторія	10	10	5	45
3	Офісне приміщення	8	8	4	75
4	Комп'ютерний клас	8	8	4	105
5	Роздягальня	6	6	6	120
6	Коридор	4	4	5	30
7	Санвузол	4	4	3,5	60
8	Стоматологічний кабінет	6	6	4	45
9	Офісне приміщення	6	6	6	15

Контрольні запитання

1. Чим визначається точковість світного елемента?

2. Які координати визначають положення точкового елемента відносно розрахункової точки?

3. Наведіть приклади точкових світних елементів.

4. Які світильники можна вважати симетричними?

5. Що називають світлорозподілом світлового випромінювача?

6. Що означає величина $I_{\alpha 1000}$?

7. Формула для розрахунку прямої складової освітленості від точкового елемента із симетричним світлорозподілом.

Лабораторна робота № 3
Розрахунок прямої складової освітленості від лінії, що світить

Мета роботи: Проведення світлотехнічного розрахунку освітлювальної установки із лініями, що світять за допомогою точкового методу.

Теоретичнівідомості

До лінійних світних елементів відносяться елементи, які мають суттєво менші розміри по одній із осей в порівнянні з розмірами по другій.

В практиці розрахунку до світних ліній відносяться випромінювачі, довжина яких перевищує половину розрахункової висоти h_p. Це перш за все люмінесцентні світильники, розміщені безперервними лініями або лініями з розривами, а також витягнуті світлові панелі, довжина яких співрозмірна з віддаллю до освітлюваної поверхні (рис. 3.1).

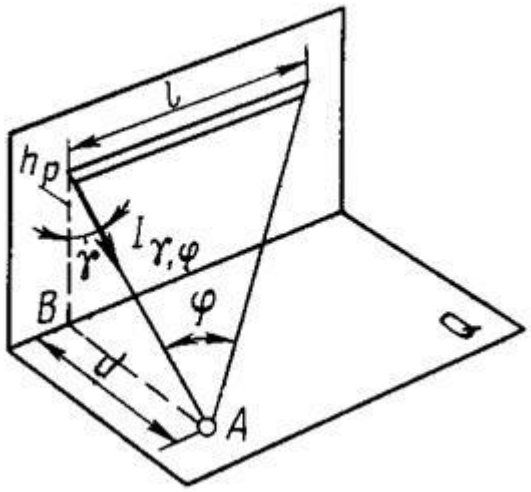


Рис. 3.1. Координати, що визначають положення світної лінії відносно розрахункової точки

Основною характеристикою лінійних джерел випромінювання є питома сила світла, під якою розуміють силу світла, яка випромінюється одиницею довжини джерела (1 м.) в площині, перпендикулярній його осі і криві сили світла в поздовжній і поперечній площинах.

Положення світящої лінії відносно точки розрахунку визначається:

h_p – висотою розміщення світящоїлінії відносно розрахункової точки і двома кутами

γ– кутом в поперечній площині, перпендикулярній осі лампи і яка проходить через точку розрахунку;

φ– кутом, під яким видно світящу лінію з точки розрахунку.

Для спрощення розрахунків положення розрахункової точки вибирається таким чином, щоб її проекція на площину розміщення світної лінії співпала з проекцією кінця світлової лінії на розрахункову площину (рис. 3.2).

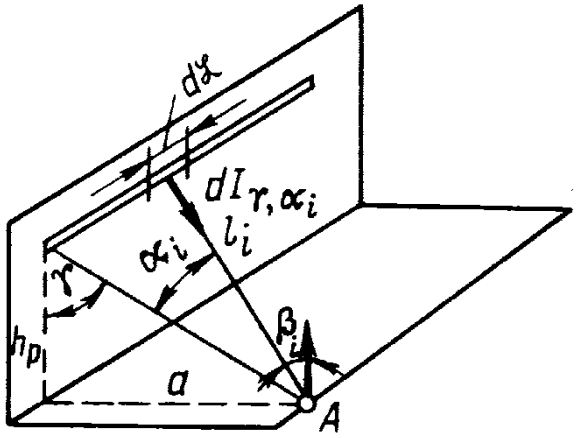


Рис. 3.2. До розрахунку освітленості від лінійного сівтлового елемента

Освітленість в точці *A* від світної лінії довжини *l* дорівнює:

$$E_A = \frac{I_\gamma}{2h_p}\cos^2\gamma(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}), \qquad (3.1)$$

де I_γ − сила світла з одиниці довжини лінії; α – кут, під яким видно світящу лінію з точки розрахунку.

При розміщенні точки розрахунку безпосередньо під світною лінією великої довжини ($\alpha = \pi/2$, $\gamma = 0$) формула (3.1) буде мати вигляд

$$E_A = \frac{\pi \cdot I_\gamma}{4 \cdot h_p}. \qquad (3.2)$$

Даний розрахунок є справедливим, коли розрахункова точка знаходиться напроти кінця світної лінії. Якщо розрахункова точка не співпадає з проекцією кінця світної лінії, то остання розділяється на дві частини або доповнюється умовним відрізком з подальшим додаванням або відніманням освітленості. На рис. 3.3 показані можливі варіанти розміщення розрахункової точки відносно світної лінії.

Для точки A_1 освітленість від світної лінії *BD*: $E_{A1} = E_{BC} - E_{CD}$. Для точки A_2 розміщеної поза проекцію світної лінії $E_{A2} = E_{BE} - E_{DE}$, де E_{BC}, E_{CD}, E_{BE}, E_{DE} – освітленість від ділянок світних ліній.

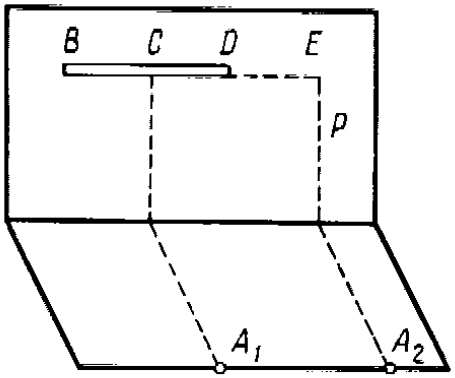


Рис. 3.3. Можливі випадки розміщення розрахункової точки відносно лінійного світного елемента

Порядок виконання роботи

1. Згідно останньої цифри залікової книжки вибрати приміщення з таблиці 1.1.

2. Для даного приміщення встановити нормовану освітленість згідно ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення» [1] вибрати можливі для застосування джерела світла, світлові прилади та нормовану освітленість.

3. По даним каталогів вибрати лінійні джерела світла із відомим потоком та світлові прилади із відомим світлорозподілом.

4. Встановити світлову лінію паралельно стіні із більшою довжиною вздовж лінії симетрії приміщення.

5. Точками для розрахунку вибрати 2 різні точки, які знаходяться недалеко від стін приміщення та 1 точку під світною лінією.

6. Для кожної з точок розрахувати значення кутів α та γ по розміщенню точки відносно світлової лінії. Відповідно до КСС світлових приладів та кутів γ здійснити вибір сили світла I_γ в напрямку до розрахункових точок.

7. За формулами (3.1) та (3.2) провести розрахунок освітленостей в розрахункових точках.

Контрольні запитання

1. Які світні елементи можна віднести до лінійних?

2. Яка основна характеристика лінійних джерел випромінювання?

3. Якими координатами визначається положення світящої лінії відносно точки розрахунку?

4. Формула для розрахунку прямої складової освітленості від світящої лінії.

5. Формула для розрахунку прямої складової освітленості від світящої лінії при розрахункової точки безпосередньо під світловою лінією.

6. Як поступають, якщо розрахункова точка не співпадає з проекцією кінця світної лінії?

Лабораторна робота № 4
Розрахунок освітлювальних установок зовнішнього освітлення

Мета роботи: Закріплення знань та практичних навиків світлотехнічного розрахунку освітлювальних установок для зовнішнього освітлення.

Теоретичні відомості

Відмінними особливостями зорової роботи водіїв міського транспорту є:

а) порівняно великі кутові розміри об'єктів спостереження (пішоходи, автомобілі, тролейбуси та інші засоби сполучення);

б) обмежений час виявлення об'єкта спостереження (t=0,5 с).

Кутовий розмір об'єкта спостережння, який знаходиться на відстані, що забезпечує необхідну дистанцію гальмування, при швидкості руху 50 – 60 км/год дорівнює (50 – 60)°. Обмеження часу спостереження водіїв визначається необхідністю врахування психометричної реакції і довжини шляху гальмування.

Проектування зовнішнього освітлення міст потрібно виконувати у відповідності з СН541-82. (Інструкція по проектуванню зовнішнього освітлення міст, селищ міського типу і сільських населених пунктів).

Норми середньої яскравості асфальтобетонних покриттів проїжджої частини вулиць, доріг, площ міст і селищ з регулярним транспортним рухом вказані в таблиці 4.1. В цій таблиці наведені також норми середньої горизонтальної освітленості покриттів проїзної частини вулиць, доріг і площ.

Норми освітлення приймаються однаковими при будь-яких джерелах світла, що використовуються в освітлювальних установках. В нормах вказується рівномірність розподілу яскравості на покритті проїзної частини вулиць, доріг і площ, яка характеризується відношенням максимальної яскравості покриття до мінімальної, яке при середній яскравості покриття більше 0,6 Кд/м^2 не повинно перевищувати 3:1 і 5:1 при середній яскравості 0,6 Кд/м^{2}і менше.

Середня яскравість покриття тротуарів, які примикають до проїжджої частини вулиць і площ, повинна складати не менше половини середньої яскравості покриття проїзної частини цих вулиць, доріг і площ, наведеної в таблиці 4.1.

Для проїжджої частини вулиць, доріг і площ в містах і селищах, які мають перехідні і найнижчі покриття, регламентується середня горизонтальна освітленість, значення якої для вулиць, доріг і площ категорії Б повинна бути 6 Лк, а категорії В при перехідному типі покриття 4 Лк і при покритті найпростішого типу – 2 Лк.

Середня горизонтальна освітленість проїздів під шляхопроводами і мостами в темний час доби повинна бути не менше 30 Лк при довжині

проїзду до 40 м, а при більшій довжині приймається по нормам освітлення тунелів.

Таблиця 4.1.

Категорія об'єкта по освітленню	Вулиці, дороги і площі	Найбільша інтенсивність руху транспорту в обох напрямках, одиниць в 1 год.	Середня яскравість покриття, Кд/м^2	Середня горизонтальна освітленість покриття для міст і населених пунктів, Лк
А	Швидкісні дороги, магістральні вулиці загально-міського значення; головні, вокзальні транспортні, передмостові і багатофункцінальних транспортних вузлів.	Більше 3000 Від 1000 до 3000 Від 500до 1000 Менше 500	1,6 1,2 0,8 0,6	20 20 15 15
Б	Магістральні вулиці районного, дороги вантажного руху (загальноміського значення), площі перед крупними громадськими будівлями і спорудами (стадіонами, театрами, виставками і т.д.)	Більше 2000 Від 1000 до 2000 Від 500до 1000 Менше 500	1,0 0,8 0,6 0,4	15 15 10 10
В	Вулиці і дороги місцевого значення: житлових кварталів, дороги промислових і комунально-складських районів, селищні, площі перед громадськими будівлями і спорудами селищного значення	500 і більше Менше 500	0,4 0,2	6 4

В установках зовнішнього освітлення при середній яскравості дорожнього покриття 0,4 Кд/м^2 і більше, і середній освітленості 4 Лк і вище, слід застосовувати світильники з газорозрядними джерелами світла. Над проїжджою частиною вулиць, доріг і площ світильники повинні встановлюватись на висоті не менше 6,5 м. Висота підвісу світильників над контактною мережею трамвая повинна бути не менша 8 м від рівня голівок рельсів, а над контактною мережею тролейбусів - не менше 9 м від рівня проїзної частини.

Мінімальна висота установки світильників в параметрах мостів і шляхопроводів не обмежується при захисному куті світильника 10° і більше, а також при недопустимості дотику до струмопровідних частин світильника без застосування спеціального інструмента.

В транспортних тунелях повинні застосовуватись світильники з захисним кутом 10° і більше, висота їх розташування повинна бути не менше 4 м. Вимогами до світильників в пішохідних тунелях є: захисні кути світильників з люмінесцентними лампами і лампами ДРЛ повинні бути не менше 15°, сумарна потужність ламп, які застосовуються в одному люмінесцентному світильнику, не повинна перевищувати 80 Вт, а для ламп ДРЛ – 125 Вт.

Світильники для освітлення вулиць кріпляться на спеціальних опорах, які виготовляють із сталі, алюмінію, залізобетону і дерева. Сукупність опори, кронштейнів і світильників являють собою ліхтар вуличного освітлення.

Розрізняють ліхтарі вінчаючого і консольного типів, які відрізняються способом кріплення світильників. Вузькі вулиці (шириною до 20 м) з

периметральною забудовою доцільно освітлювати приладами, підвішеними до тросів, а також прикріпленими на кронштейнах до будівель. При вільній забудові жилих кварталів освітлення монтується на опорах.

Широко поширені ліхтарі, опора яких вигинається під кутом 15°, і ця вигнута частина служить консоллю для кріплення світильника. Більшість сучасних консольних світильників розраховано на установку з таким нахилом. В деяких з них є зігнутий патрубок. Такі світильники повинні встановлюватись на горизонтальних консолях. Не допускається встановлювати світильник під кутом 30-40°.

Опис алгоритму розрахунку

Розрахунок розподілу освітленості по поверхні дорожного покриття доцільно проводити точковим методом. Цей метод полягає в тому, що площину, на якій необхідно визначити освітленість розбивають на ряд ділянок, визначають освітленість в центральній точці цієї ділянки від усіх джерел випромінювання і вважається, що освітленість в середині цієї зони однакова.

Розрахунок проводиться при відомій висоті світлового центра *H*, довжині кронштейна *r*, куті нахилу кронштейна φ, відстані між опорами *d*, ширині дороги *d*, а також при відомому світловому розподілі даного типу світильника (рис. 4.1).

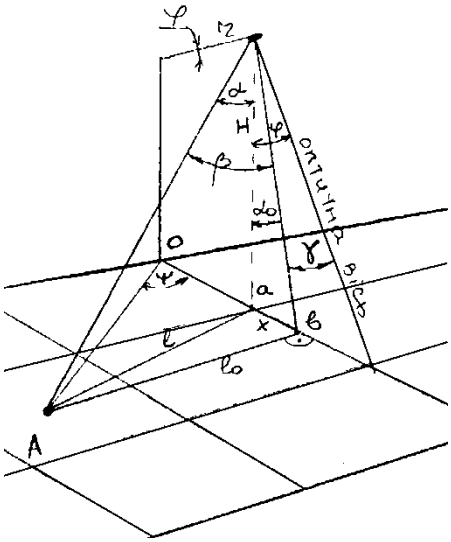


Рис. 4.1.

Позначимо відрізок *oa* через *a*, а відрізок *ob* - через *b*. Тоді $a = r \cdot \cos\varphi$.

Значення *x* визначається як

$$x = b - a. \tag{4.1}$$

Величину кута α_o визначаємо по формулі:

$$\alpha_o = arctg\left(\frac{x}{H}\right). \tag{4.2}$$

Кути β і γ, які необхідні для визначення величини сили світла в даній точці, згідно рис. 4.1 визначаємо за формулами:

$$\beta = arctg\left(\frac{l_o}{x}\sin\alpha_o\right), \tag{4.3}$$

$$\gamma = \phi - \alpha_o . \tag{4.4}$$

де l_o визначаємо через задану відстань між світильниками і кількість розбиттів N вздовж дороги.

Знаючи кути β і γ, а також розподіл сили світла в горизонтальній (0 – 180°) і вертикальній (90 – 270°) площинах і вважаючи, що сила світла при переході від горизонтальної до вертикальної площини змінюється рівномірно, можемо знайти силу світла в горизонтальній $I_\text{г}$ і вертикальній $I_\text{в}$ площинах, апроксимувавши відповідні КСС прямою, а також силу світла в точці А.

$$I_\Gamma = \frac{I_2(\beta - \beta_1) + I_1(\beta_2 - \beta)}{\beta_2 - \beta_1}, \tag{4.5}$$

$$I_B = \frac{I_2(\gamma - \gamma_1) + I_1(\gamma_2 - \gamma)}{\gamma_2 - \gamma_1}. \tag{4.6}$$

де β_1, β_2 і γ_1, γ_2 – менший і більший кути в проміжок між якими попадає шуканий кут β і γ відповідно, I_1 і I_2 – сила світла, яка відповідає кутам β_1, β_2 і γ_1, γ_2.

Тоді

$$I_\alpha = I_O k_\Gamma k_B, . \tag{4.7}$$

де I_α – сила світла в напрямку α, тобто в точці A, $I_\text{О}$ – сила світла при кутах β= 0 і γ= 0, $k_\Gamma = \frac{I_\partial}{I_O}$, $k_B = \frac{I_e}{I_O}$.

З рис. 4.1 легко побачити, що

$$\alpha = arctg\frac{\sqrt{l_o^2 + x^2}}{H}. \tag{4.8}$$

Тоді освітленість в точці A від даного світильника легко визначити за формулою:

$$E = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3\alpha}{H^2}. \tag{4.9}$$

Аналогічно знаходиться освітленість точки A від інших світильників. Просумувавши освітленості від усіх світильників отримаємо загальну освітленість в т. A.

Порядок виконання роботи

1. Згідно останньої цифри залікової книжки вибрати категорію дороги та інтенсивність руху згідно таблиці 4.2.

2. Згідно значень, наведених в таблиці 4.1 встановити нормовані значення яскравості та освітленості дорожнього покриття.

3. Для заданих параметрів по довідникових даних вибрати світлові прилади та джерела світла для освітлення дороги.

4. Використовуючи дані, наведені в таблиці 4.2 провести розрахунок освітленості дорожнього покриття та провести порівняння із нормативними значеннями.

Таблиця 4.2. Вихідні дані для розрахунку

№ п/п	Категорія	Інтенсивність руху, од/год	H, *м*	φ, *град.*	d, *м*	b, *м*	M	N
0	А	Більше 3000	6,5	15	10	5,5	2	2
1	А	Від 1000 до 3000	7	15	10	6	2	2
2	А	Від 500до 1000	6,5	15	10	8	2	2
3	А	Менше 500	8	15	10	10	2	2
4	Б	Більше 2000	6,5	15	10	12	2	2
5	Б	Від 1000 до 2000	7,5	15	10	5,5	2	2
6	Б	Від 500до 1000	7	15	10	6	2	2
7	Б	Менше 500	7	15	10	8	2	2
8	В	500 і більше	6,5	15	10	10	2	2
9	В	Менше 500	8	15	10	12	2	2

№ п/п	Назва вхідних даних	Ідентифікатор
1.	Висота світлового центру, м	H
2.	Довжина кронштейна, м	r
3.	Кут нахилу кронштейна, град.	φ
4.	Відстань між опорами, м	d
5.	Ширина дороги, м	b
6.	Кількість точок на дорозі: вздовж впоперек	N M

Контрольні запитання

1. Які особливості зорової роботи водіїв транспорту?

2. Світильники із якими джерелами світла слід застосовувати при середній яскравості дорожнього покриття 0,4 Кд/м^{2}I і більше, і середній освітленості 4 Лк і вище?

3. Які світильники повинні застосовуватись у транспортних тунелях?

4. Яким методом доцільно проводити розрахунок розподілу освітленості по поверхні дорожнього покриття?

5. Які параметри є вихідними при розрахунку розподілу освітленості по поверхні дорожнього покриття?

Лабораторна робота № 5
Розрахунок прожекторного освітлення

Мета роботи: Ознайомитись з методами розрахунку прямої складової освітленості від світлових приладів прожекторного типу.

Теоретичні відомості

Прожектор – світловий прилад, що перерозподіляє світло лампи (ламп) усередині малих тілесних кутів, що забезпечує кутову концентрацію світлового потоку. У прожекторі світловий потік лампи концентрується в обмеженому просторовому куті за допомогою дзеркальної або дзеркально-лінзової оптичної системи.

Розрахунок прожекторного освітлення має деяку специфіку: як правило, прожектори встановлюють похило під деяким кутом до горизонту, який визначається розміщенням освітлюваної зони, висотою установок прожекторів і рівнем нормованої освітленості. Якщо застосовують прожектори дальньої дії, які мають малі кути розсіювання (3-5°), тому найменші неточності в визначенні кутів максимального значення сили світла може привести до значних похибок.

Найчастіше в ОУ застосовують прожектори заливаючого світла для освітлення великих територій промислових підприємств, виробничих площадок, які розміщені поза будівлями, різноманітних кар'єрів, залізничних станцій, а також для освітлення спортивних споруд. Найбільш жорсткі вимоги ставляться до освітлення спортивних споруд.

Нехай прожектор заливаючого світла з осьовою силою світла I_o встановлено на висоті h_p від площини розміщення розрахункової точки (рис. 5.1).

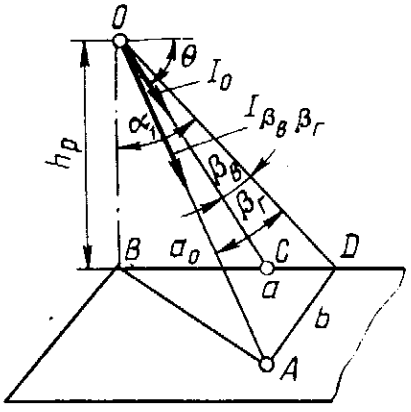


Рис. 5.1

Напрям сили світла $I_{\beta в \beta г}$ на точку А визначається кутами $\beta_в$ і $\beta_г$ в двох взаємоперпендикулярних площинах. Згідно рисунка значення цих кутів можна знайти з наступних рівнянь

$$\beta_Г = arctg\left(\frac{b\cdot\cos\alpha_1}{h_p}\right) = arctg\left(\frac{b\cdot\sin\alpha}{a}\right), \beta_В = arctg\left(\frac{a}{h_p}\right) - arctg\left(\frac{a_0}{h_p}\right).. \quad (5.1)$$

Згідно значенням $\beta_в$ і $\beta_г$ по кривих сили світла визначають силу світла $I_{\beta в \beta г}$ по напрямку до розрахункової точки *A*. Освітленість в точці А визначають як

$$E_A = \frac{I_{\beta В \beta Г}\cdot\cos^3\alpha}{h_p{}^2}. \quad (5.2)$$

де α – кут між напрямком сили світла в розрахункову точку і нормаллю до освітлюваної поверхні.

Порядок виконання роботи

1. Згідно останньої цифри залікової книжки вибрати тип прожектора, а також дані для розрахунку відповідно до таблиці 5.1.

2. Згідно таблиці 9.6, с. 250 [6] вибрати значення осьової сили світла для вказаного прожектора із вказаною лампою.

3. За допомогою формул (5.1) розрахувати значення кутів $\beta_в$ і $\beta_г$та по каталожним даним визначити силу світла $I_{\beta в \beta г}$ в напрямку до розрахункової точки.

4. За формулою (5.2) розрахувати значення прямої складової освітленості в розрахунковій точці.

Таблиця 5.1

Остання цифра залікової книжки	Тип прожектора	Тип джерела світла	$h_р$, м	θ, град	a, м	b, м
0	ПСМ-50-1	ДРЛ-700	15	20	10	10
1	ПСМ-50-1	ДРЛ-400	10	15	6	5
2	ПСМ-50-1	Г220-1000	25	15	20	15
3	ПЗР-250	ДРЛ-250	8	10	6	6
4	ПЗР-400	ДРЛ-400	10	25	8	7
5	ПСМ-40-1	Г220-500	20	15	20	15
6	ПСМ-40-2	ПЖ-220-500-3	35	10	30	20
7	ПСМ-30-1	Г220-200	12	15	20	15
8	ПСМ-50-1	ДРЛ-700	20	15	20	15
9	ПСМ-50-1	ДРЛ-400	15	25	10	15

Контрольні запитання

1. Що таке прожектор?
2. В чому полягає специфіка розрахунку прожекторного освітлення?
3. Які прожектори найчастіше застосовують в освітлювальних установках?
4. Формула для розрахунку прямої складової освітленості від прожектора.

5. Як визначається сила світла в напрямку до розрахункової точки?

Лабораторна робота № 6
Перевірка освітлювальних установок на відповідність регламентованим значенням показника дискомфорту

Мета роботи: Ознайомитись з методом перевірки освітлювальних установок громадських приміщень на відповідність регламентованим значенням показника дискомфорту.

Теоретичні відомості

Наявність в полі зору блиску негативно діє на зір. Викликаний цим блиском стан засліпленості, є еквівалентним появі в полі зору вуалі, яскравість котрої накладається на яскравість фону та деталі, зменшуючи видимий контраст між ними та призводить до зменшення видимості.

Також негативна дія блиску проявляється і до виникнення засліпленості, коли при відносно невеликому блиску появляються незручності в роботі, або так званий зоровий дискомфорт, який призводить до втоми зору.

У свої дослідженнях Холледей дослідив суб'єктивне відчуття плями підвищеної активності, яка виникає на адаптаційному фоні рівномірної яскравості B_g, яка змінюється в межах 0,3 − 320 нм. Кутовий розмір плями підвищеної яскравості по діаметру в процесі експерименту змінювався від 18 до 7°. Осліплююча пляма в всіх дослідах розміщувалась поблизу центра поля адаптації. Для порівняльної оцінки зорового дискомфорту та засліпленості в результаті дії блиску запропоновано формулу

$$N = a + \lg L + 0,25\lg\omega - 0,3\lg L_a . \qquad (6.1)$$

де a – постійна, яка залежить від вибору одиниць яскравості; L – яскравість досліджуваної осліпляючої плями; ω – тілесний кут осліпляючої плями; L_a – яскравість адаптації; N – критерій, який визначає рівень відчуття.

Для різноманітних ступенів відчуття Холледей запропонував наступну шкалу рівня зорового відчуття: N = 0,30 – ледь помітно; N = 0,60 – найбільш приємно; N = 0,90 – на межі приємного і байдужого; N = 1,20 – байдуже; N = 1,90 – на межі байдужого і неприємного; N = 2,2 – трохи неприємно; N = 2,4 – неприємно; N = 2,6 – на межі нестерпно неприємного; N = 2,8 – неприємно і боляче.

Попереднє рівняння, яке визначає кількісні критерії зорового відчуття світлової плями на більш темному фоні, можна записати в формі, більш зручній для практики:

$$C = B_g \frac{-\omega^n}{B_{ag}^m}. \qquad (6.2)$$

де $C = 10^{N-a}$ – критерій рівня зорового відчуття.

Результати експериментів дозволили сформулювати залежність дискомфортної яскравості L_d від яскравості фона, який визначає рівень адаптації L_a, тілесного кута світлої плями ω , який викликає виникнення дискомфорту і кутового зміщення θ світлої плями відносно лінії зору спостерігача:

$$L_d = M \cdot \phi(\theta) \cdot \sqrt{\frac{L_a}{\omega}}. \qquad (6.3)$$

де M – показник дискомфорту; $\phi(\theta)$ – індекс позиції дискомфортної плями відносно лінії зору спостерігача; ϕ – тілесний кут дискомфортної плями.

В будівельних нормах і правилах за критерій, який визначає осліпляючу дію освітлювальних установок громадських і житлових приміщень, прийнятий показник дискомфорту. Вибір цього критерія визначається в основному тим, що в приміщеннях громадських і житлових будинків, напрямок лінії зору переміщується в часі з переважною орієнтацією і по горизонті. В залежності від призначення і парадності освітлювального приміщення показник дискомфорту вибирається в межах 25 – 60 і лише в надзвичайних випадках (операційні, лікарняні палати, спальні кімнати в яслях дитячих садків) він регламентований величиною 15.

З вище згаданих формул випливає, що основними параметрами освітлювальної установки, які визначають рівень максимально допустимої яскравості по дискомфорту, є яскравість адаптації і розміщення світлових приладів в полі зору. Виходячи з цього, випливає, що для оцінки засліплюючої дії як по показнику осліпленості так і по показнику дискомфорту необхідно знати яскравість адаптації. Яскравість адаптації в умовах освітленості виробничих приміщень, а також в робочих приміщеннях громадських будівель (адміністративно-конторські приміщення, конструкторське бюро, шкільні приміщення, читальні зали, виставки) визначаються яскравістю робочих поверхонь. В приміщеннях громадських будівель зорове завдання яких полягає в огляді навколишнього середовища (глядацькі зали, фойє театрів і ін.), яскравість адаптації визначається з умови переважного напрямку лінії зору по горизонту. Наявність світлих стель, панелей та інших світлових елементів архітектури в значній мірі впливає на рівень яскравості адаптації.

Визначення відповідності освітлювальної установки вимогам по показнику дискомфорту виконується в такій послідовності:

1. За типом світлорозподілу світильника встановлюється їх група.

2. Згідно частини світлового потоку, що падає в нижню півсферу, визначають підгрупу світильника. При цьому поправочний коефіцієнт K_M знаходять за формулою:

$$K_M = 0,5\sqrt{\frac{\Phi_p}{G}}\,. \qquad (6.4)$$

де Φ_p – реальний світловий потік світильника в нижню півсферу, тис. лм; G – площа вихідного отвору світильника, м^2 (підраховується по дійсним розмірам світильника)

По площі і висоті приміщення визначають індекс приміщення *i* [2].

Згідно групи і підгрупи, коефіцієнтів відбивання стін (ρ_c) і підлоги (ρ_n) знаходять значення індексу приміщення i_T (табличне значення), при якому забезпечується регламентоване максимальне значення показника дискомфорту *M* [2].

Оцінка відповідності розглянутої освітлювальної установки вимогам по обмеженню осліпляючої дії по дискомфорту проводиться порівнянням i_T та i :

при $i < i_T$ освітлювальна установка відповідає вимогам по дискомфорту;

при $i > i_T$ - установка не відповідає цим вимогам.

Нормоване значення показника дискомфорту *M*=90 забезпечується при умовах, для яких складена таблиця. Нормоване значення *M*=60 забезпечується при всіх комбінаціях ρ_c і ρ_n, окрім $\rho_c = 0,3$ та $\rho_n = 0,1$ (крім підгрупи світильників 1М, для яких $i_T = 1,1$).

Порядок виконання роботи

1. Згідно останньої цифри залікової книжки вибрати приміщення з таблиці 6.1.
2. Для даного приміщення встановити значення регламентованого показника дискомфорту згідно ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення»6 [1] та вибрати можливі для застосування джерела світла, світлові прилади та нормовану освітленість.
3. По даним каталогів вибрати джерела світла потоком та світлові прилади із відомим світлорозподілом.
4. Використовуючи формули (1.2) та (1.3) розрахувати індекс приміщення.
5. По світлорозподілу світильників встановити їх номер групи та підгрупи відповідно до таблиці 3.9 [3].
6. По розрахованому індексу приміщення для коефіцієнтів відбивання відповідно стелі, стін та підлоги 0,7; 0,5 та 0,3 із таблиці 3.10 на сторінці 110

[2] провести оцінку освітлювальної установки на відповідність показника дискомфорту.

Таблиця 6.1

Остання цифра залікової книжки	Призначення приміщення	Довжина приміщення, м	Ширина приміщення, м	Висота приміщення, м
0	Лікарняна палата	6	4	4
1	Читальний зал	15	10	5
2	Лекційна аудиторія	20	15	5
3	Офісне приміщення	8	8	4
4	Комп’ютерний клас	10	8	4
5	Спортивний зал	40	20	6
6	Коридор	40	4	5
7	Санвузол	4	4	3,5
8	Стоматологічний кабінет	6	6	4
9	Плавальний басейн	25	20	6

Контрольні запитання

1. Вплив наявності блиску на зорову роботу?
2. Який показник в будівельних нормах і правилах взято за критерій, який визначає осліпляючу дію освітлювальних установок громадських і житлових приміщень, прийнятий показник дискомфорту?
3. В яких межах вибирається показник дискомфорту?
4. Як проводиться оцінка відповідності розглянутої освітлювальної установки вимогам по обмеженню осліпляючої дії по дискомфорту?
5. Як розраховується індекс приміщення?

Лабораторна робота № 7
Дослідження установки вуличного освітлення

Мета роботи: Дослідження впливу розміщення світильників на середнє значення яскравості дорожнього покриття і її розподіл, а також на величину контрасту між об'єктом видимості і дорожнім покриттям.

Теоретичні відомості

Основна задача освітлювальної установки вулиці пов'язана з забезпеченням безпеки руху транспорту, тобто з створенням такого рівня яскравості дорожнього покриття, на тлі якого водій міг би вчасно виявити перешкоду і прийняти необхідні міри.

Вивчення особливостей роботи водіїв в умовах міського руху дозволило встановити наступні розрахункові параметри умов спостереження:

кутовий розмір об'єкту біля 1°; час спостереження – 0,5 с; кут нахилу лінії зору до площини дорожнього покриття – 1°.

Впевнене розпізнання силуету об'єкту з заданою імовірністю можливо при виконанні наступної очевидної умови:

$$\frac{k}{k_{кр}} \geq 1,. \tag{7.1}$$

де k – дійсний контраст об'єкту з фоном; $k_{кр}$ — критичний контраст, величина якого визначає межу відкриття об'єкту з імовірністю 99%.

Значення критичного контрасту залежить від яскравості дорожнього покриття і швидкості і інтенсивності руху транспорту. На вулицях з інтенсивним рухом при яскравості від 0,2 до 2 кд/м^2 значення $k_{кр}$ коливається від 0,9 до 0,5, а при незначному русі від 0,55 до 0,3.

З (7.1) можна бачити, що в основі нормування вуличного освітлення лежить по суті видимість об'єкту, як відомо, кількісно визначається числом порогових контрастів, що вкладаються в фактичне значення контрасту.

В якості основної кількісної характеристики, визначальної ефективності розміщення вуличною освітлення, в нормах штучного освітлення прийнята середня яскравість дорожнього покриття, що є наступним (після нормування по освітленості) кроком на шляху до прямого нормування.

При нормуванні по яскравості враховується істотний вклад в створенні сумарної яскравості направлено відбитих потоків усунених світильників, бо сухе асфальтове покриття володіє направленню розсіяним відбиванням.

При рівномірному розподілі розрахункових точок по покриттю середня яскравість може бути визначена як:

$$L_{ср} = \frac{\sum_{k=1}^{n} L_k}{n},. \tag{7.2}$$

де $L_{ср}$ – яскравість елементу дорожнього покриття в заданій точці,

Обмежений набір таких індикатрис відбивання поверхні покриття при фіксованому значенні кута спостереження дозволив створиш інженерний засіб розрахунку середньої яскравості, який базується на понятті коефіцієнта використання по яскравості:

$$\eta_L = \pi \frac{L_{ср} \cdot b \cdot R}{m \cdot \Phi_л},. \tag{7.3}$$

де η_L – коефіцієнт використання по яскравості; $\Phi_л$ – світловий потік ламп одного світильника (10 лм); m – число світильників на одній опорі; R – крок світильників або відстань між опорами; b– ширина проїжджої частини (115 мм).

З (7.3) видно, що коефіцієнт використання по яскравості можна визначити, як відношення світлового потоку відбитою еквівалентним дифузним покриттям яскравість якого рівної середньої яскравості реальною покриття в напрямку позиції спостерігача, розташованого на осі проїжджої частини вулиці.

Користуючись цим засобом, можна вирішити пряму задачу розрахунку потужності освітлювальної установки, визначаючи крок між світильниками при відомих $L_{ср}$, $\Phi_{л}$, b, m, або потрібний потік ламп світильників при відомому їхньому розташуванні.

При нормуванні по середній яскравості необхідно регламентувати нерівномірність розподілу яскравості дорожнього покриття. Ця характеристика якості вуличного освітлення визначається відношенням максимальної яскравості до мінімальної в межах від 3 до 5 в залежності від інтенсивності руху.

Слід окремо підкреслити, що необхідні по нормам рівні середньої яскравості дорожнього покриття і допустимої нерівномірності її розподілу забезпечують впевнене бачення об'єкту за умови обмеження осліплюючої дії освітлювальної установки.

Дослідження проводяться на макеті зі змінною підлогою, яка імітує дорожнє покриття, і світильниками. На двох протилежних стінах макету встановлені паралельно один одному два плоских дзеркала, що створюють за рахунок багатократних відбивань ефект нескінченно довгої вулиці.

Для спостереження і вимірів яскравості в одному з дзеркал усунено амальгаму і створене вікно. Моделі світильників, розміщені над дорожнім покриттям, жорстко закріплені на загальній рамці і можуть міститися на різній висоті. Зміна відносної відстані між світильниками $\frac{R}{h}$ можна здійснювати також виключенням деяких світильників.

Яскравість визначається з допомогою яскравоміру в контрольних точках дорожнього покриття, відмічених реперами. Для виміру контрасту на покритті встановлюється макет об'єкту, відмінність у вигляді вертикального екрану з коефіцієнтом відбивання 0.1.

Вимір яскравості проводиться універсальним фотометром типу АФМ або іншим аналогічним по межах вимірюваної приладом яскравості.

Установка зібрана в вигляді шухляди з відкидною стінкою. На верхній панелі розміщені тумблери для включення світильників тримача для пересування рамки зі світильниками по вертикалі. Напруга на джерелах світла контролюється, вольтметром. Живлення установки проводиться через понижуючий трансформатор від мережевої напруги 127 або 220 В.

Порядок виконання роботи

1. Виміряти яскравість дорожнього покриття в контрольних точках для п'яти значень відношення кроку до висоти підвісу $\frac{R}{h}$.

2. Розрахувати середню яскравість дорожнього покриття, коефіцієнт використання по яскравості η_L і побудувати залежність $\eta_L = f\left(\frac{R}{h}\right)$.

3. Розрахувати нерівномірність розподілу яскравості по дорожньому покриттю і побудувати в залежності $\Delta\alpha = f\left(\frac{R}{h}\right)$.

4. Виміряти контраст між об'єктом розпізнання і дорожнім покриттям для п'ятьох значень $\frac{R}{h}$ при розміщенні макету об'єкту в двох-трьох характерних точках. По осі дорожнього покриття побудувати криві зміни контрасту як функції $\frac{R}{h}$.

5. Провести аналіз отриманих результатів і сформулювати висновки по роботі.

Перед вимірюванням яскравості необхідно вивчити інструкцію до фотометричного приладу, що використовується в установці. Ціна поділки яскравоміру визначається по паспорту. Вимір яскравості дорожнього покриття проводити в контрольних точках під репером. Стежити за тим, щоб зображення репера не попадало в область, обмежену діафрагмою яскравоміра. Розрахунок середньої яскравості, нерівномірності розподілу яскравості і коефіцієнта використання по яскравості проводити за даними вимірів п. 1. Світловій потік ламп в моделі світильника приймати по паспортним даним установки.

Контрольні запитання

1. При якій умові можливим є розпізнання об’єкту?
2. Від чого залежить значення критичного контрасту?
3. Що таке коефіцієнт використання по яскравості?
4. Як визначається відносна відстань між світильниками?
5. Як визначається середня яскравість при рівномірному розподілі розрахункових точок по покриттю?

Лабораторна робота № 8
Дослідження коефіцієнта використання світлового потоку

Мета роботи: Дослідження залежності коефіцієнта використання освітлювальної установки U_{oy} від співвідношення розмірів приміщення, що освітлюється, (індексу приміщення) і властивостей поверхонь, що відбивають, стелі, стін і підлоги.

Теоретичні відомості

Під коефіцієнтом використання, освітлювальної установки розуміється відношення світлового потоку, що установився па розрахунковій площині, до світлового потоку ламп усіх світильників:

$$U_{ОУ} = \frac{\Phi_р}{N \cdot n \cdot \Phi_л},. \qquad (8.1)$$

де $\Phi_р$ – світловий потік, що установився на розрахунковій площині; N – число світильників у приміщенні; n – кількість ламп у світильнику; $\Phi_л$ – світловий потік однієї лампи;.

Коефіцієнт використання освітлювальної установки прямо зв'язаний із її енергетичною ефективністю $Э_э$, обумовленою відношенням освітленості в точці передбачуваного мінімуму $E_{\min}$ до питомої потужності p.

$$Э_э = \frac{E_{\min}}{p} = \eta \cdot U_{ОУ}, \qquad (8.2)$$

де η – світлова віддача лампи, лм Вт.

До основних параметрів, від яких залежить $U_{ОУ}$, відносяться світлотехнічні характеристики світильників (ККД, світлорозподілу), геометричні параметри і властивості поверхонь, що відбивають, приміщення, а також розташування освітлювальних приладів.

Світловий потік ламп частково втрачається у світильнику, тому що змінюється прямо пропорційно ККД світильника. При однаковому ККД коефіцієнт використання освітлювальної установки можна збільшити, застосовуючи світильники прямого світла з більш глибоким світлорозподілом. При цьому значно зменшуються втрати світла на багатократні відбивання, тому що первинний світловий потік у верхню півсферу виключається, а на стіни істотно обмежується. Геометричним показником приміщення з погляду ефективності використання світлового потоку є індекс приміщення:

$$i = \frac{ab}{h_p \ a+b}, \qquad (8.3)$$

де a і b – довжина і ширина приміщення; h_p – висота розташування світильника над розрахунковою площиною.

З ростом індексу приміщення коефіцієнт використання освітлювальної установки спочатку швидко зростає, потім цей ріст сповільнюється і при значенні i>5 звичайно наступне насичення кривої росту $U_{ОУ} = f(i)\, U_{оу} = f(i)$.

Розміщення світильників у приміщенні, що освітлюється, суттєво впливає на розподіл первинних світлових потоків по поверхнях приміщення і, отже, може привести до зміни $U_{ОУ}$.У приміщеннях із малими індексами і при використанні світильників відбитого або розсіяного світла значний вплив на ріст $U_{ОУ}$ робить поліпшення властивостей , що відбивають , стелі, стіни і підлоги, тому що велика частка світлового потоку падає додатково на

розрахункову площину в результаті багатократних відбитків. З обліком цього процесу коефіцієнт використання освітлювальної установки по методу МЭИ визначається за формулою:

$$U_{OУ} = 0,001 \cdot \left(A \cdot \Phi_{ф}^{'} + B \cdot \Phi_{c}^{'} + C \cdot \Phi_{p}^{'} \right), . \qquad (8.4)$$

де $\Phi_{ф'}^{'}, \Phi_{c}^{'}, \Phi_{p}^{'}$ – прямі світлові потоки відповідно на фіктивну площу, стіни і розрахункову площину, обумовлені для світильника з умовним світловим потоком ламп 1000 лм; *A, B,* С – параметри, обумовлені в додатку 1 [2]. Фізичний зміст їх полягає в тому, що вони є коефіцієнтами використання первинних світлових потоків на фіктивну площину *A,* стіни В і розрахункову площину С щодо розрахункової площини.

Відбита складового коефіцієнта використання освітлювальної установки:

$$U_{OУ\ \ o} = 0,001 \cdot \left[A \cdot \Phi_{ф}^{'} + B \cdot \Phi_{c}^{'} + (C-1) \cdot \Phi_{p}^{'} \right]. . \qquad (8.5)$$

Фіктивна площина, що проходить через центри світильників, а в установках відбитого світла співпадаюча з вихідним отвором (площиною розміщення верха карнизів), має коефіцієнт відбивання:

$$\rho_{ф} = \frac{(\Phi_{ф})_{\rho}}{\Phi_{\cap}} = \frac{\rho_{ср} \cdot U_{ф}}{1 - \rho_{ср} \cdot (1 - U_{ф})}, . \qquad (8.6)$$

де $(\Phi_{ф})_{\rho}$ – світловий потік, що вийшов через фіктивну площину; $\Phi_{\cap}$ – світловий логік світильників, що випромінюється у верхню півсферу; $\rho_{ср}$ – середньозважений коефіцієнт відбивання поверхні (стелі, частини стін, розташованої вище фіктивної площини); $U_{ф}$ – коефіцієнт використання світлового потоку поверхні , що відбиває, щодо вихідного отвору, чисельно дорівнює відношенню площ цього отвору і поверхні, що відбиває.

Коефіцієнт корисної дії установки відбитого світла визначає частку світлового потоку ламп, що вийшов через вихідний отвір:

$$\eta_{o} = \frac{(\Phi_{ф})_{\rho}}{N \cdot n \cdot \Phi_{л}} = \rho_{ф} \cdot \eta_{к}, . \qquad (8.7)$$

де $\eta_{к}$ – ККД карнізу.

У методі розрахунку $U_{OУ}$ за формулою (8.4) прийнятий ряд допущень, (неселективність і дифузність відбиваючих поверхонь, рівнояскравість кожної з них) і прийомів (введення понять фіктивної площини і єдиної відбиваючої поверхні стін,), які спрощують розрахунок. Вплив деяких допущень можна простежити на фізичній моделі освітлювальної установки.

Опис установки

Схема установки показана на рис. 8.1. Установка представляє макет квадратного в плані приміщення зі змінними стінками різного кольору.

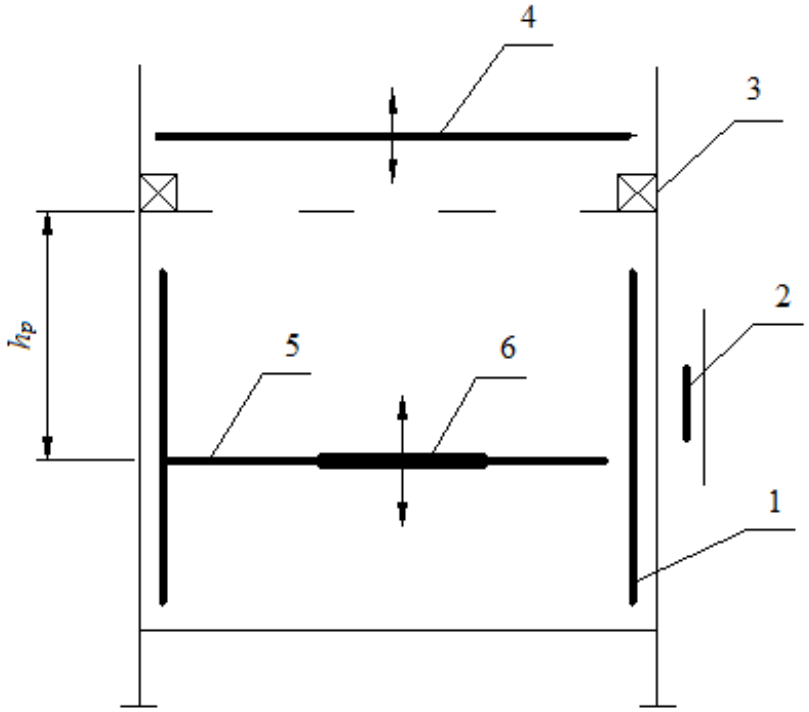


Рис. 8.1. Схема фізичної моделі приміщення для дослідження коефіцієнта використання освітлювальної установки

Для освітлення макета застосовується карниз із джерелами світла 3. Сталість напруги на лампах контролюється вольтметром. Світловий потік, що надає на розрахункову площину, визначається по середній освітленості в центральній частіші розрахункової площини за допомогою фотоелемента 6, укріпленого у площині підлоги, що може переміщатися по вертикалі. Вихідний світловий потік установки відбитого світла оцінюється по освітленості при крайньому верхньому положенні фотоелемента. Положення підлоги макета при незмінній площі приміщення визначає значення індекса приміщення, яке буде збільшуватись по мірі наближення підлоги до площини розміщення карниза. Для врахування впливу на коефіцієнт корисної дії установки відбитого світла відношення площ вихідного отвору і відбиваючої поверхні передбачено зміну положення стелі 4 по вертикалі. Для оцінки розподілу яскравості по стінці макета в одну з них врізана смужка молочного скла, яскравість якої вимірюється фотоелементом, що переміщається уздовж неї, 2. В якості приладу, що реєструє струм фотоелементів використовується мікроампеметр. Установка зібрана у вигляді металевої шухляди з відкидними стінками і ручками для регулювання положення підлоги і стелі приміщення. До установки додається набір змінних стінок і накладних підлог. Живлення установки здійснюється від напруги 127 або 220 В.

Порядок виконання роботи

1.Виміряти світловий потік, що падає на підлоту макета при шести значеннях індексу приміщення: при чотирьох-п'яти варіантах коефіцієнтів відбивання стін $(\rho_{ст} = 0{,}1 - 0{,}7)$.

2. Провести ті ж виміри з накладною світлою підлогою.

3. Розрахувати значення коефіцієнтів використання освітлювальної установки по результатах вимірів і побудувати залежності $U_{ОУ} = f(i)$ при $\rho_{ст} = const$ і $U_{ОУ} = f(\rho_{ст})$ для коефіцієнта відбивання стелі $\rho_{п} = const$ і темної підлоги.

4. За даними п. 3 визначити пряму і відбиту складового коефіцієнта використання освітлювальної установки і побудувати залежність $(U_{ОУ})_{о}/(U_{ОУ})_{пр} = f(i)$ при різних значеннях $\rho_{ст}$. Для одного варіанта коефіцієнтів відбиття стін і підлоги порівняти отримані залежності з розрахунковими.

5. Виміряти значення світлового потоку, що виходить з установки відбитого світла при трьох положеннях стелі над, рівнем карниза. Побудувати залежність $\eta_{о} = f(U_{ф})$ порівняти з результатами розрахунку за формулою 8.7.

6. Виміряти розподіл яскравості по стінці (у відносних одиницях) для темної і світлої підлоги і світлих стінок. Побудувати криві розподілу яскравості по висоті стінки.

7. Для приміщенні з індексами 0,6 і 3,0 оцінити вплив нерівномірності яскравості стінок на $U_{ОУ}$, для чого провести виміри зі стінками з різними по висоті властивостями, що відбивають , при постійному середньому значенні, коефіцієнта відбивання стін.

8. Для тих же приміщень оцінити вплив селективного відбивання стінок на $U_{ОУ}$, для чого провести виміри для двох пофарбованих у різний колір варіантів стінок при незмінному значенні коефіцієнта відбивання.

9. Провести аналіз отриманих результатів і сформулювати висновки по роботі.

Примітка. Пункти 7 і 8 завдання є факультативними.

При виконанні пунктів 3, 5, 7, 8 розрахунки виконувати, приймаючи значення світлових потоків, що вимірюються, відповідним поділкам шкали мікроамперметра. При цьому варто використовувати паспортне значення коефіцієнта корисної дії установки відбитого світла для верхнього положення стелі. При вимірі по п. 5 завдання, темну підлогу з фотоелементом встановити в крайньому верхньому положенні. Значення прямої складової коефіцієнта використання освітлювальної установки визначаються по графіках $(U_{ОУ})_{пр} = f(\rho_{ст})$ для $i = const$ шляхом екстраполяції кривих до перетинання з віссю ординат $\rho_{сп} = 0$.

Для виміру розподілу яскравості по висоті стін установлюється змінна стінка з молочним склом і фотоелементом; Криву розподілу яскравості будувати у відносних одиницях за показниками мікроамперметра.

Контрольні запитання

1. Що таке коефіцієнт використання освітлювальної установки?
2. Від чого залежить коефіцієнт використання світлового потоку?
3. Яка величина є геометричним показником приміщення з погляду ефективності використання світлового потоку?
4. Що таке індекс приміщення?
5. Як змінюється коефіцієнт використання в із збільшенням коефіцієнтів відбивання стелі, стін та підлоги?
6. Коефіцієнт корисної дії установки відбитого світла.

Лабораторна робота № 9
Розрахунок електричної освітлювальної мережі по втраті напруги

Мета роботи: Проведення розрахунку електричної освітлювальної мережі по втраті напруги.

Теоретичні відомості

Розрахунок електричних освітлювальних мереж полягає в визначенні січень проводів та кабелів, при яких робочий струм ліній не створює. перегріву проводів, забезпечуються необхідні рівні напруги у лами і достатня механічна міцність проводів.

Розрахунок мережі базується на визначенні навантаження і струму на окремих ділянках, струму апарата захисту (автоматів і запобіжників); розробці пропозицій по підвищенню коефіцієнта потужності в мережах газорозрядних ламп високого тиску, а також стабілізації напруги в освітлювальних мережах.

В якості провідникових матеріалів для виконання мереж, виключно, або майже виключно застосовують алюміній і мідь. Переваги міді як провідника є меншими в порівнянні з алюмінієм, питомий опір, більша механічна міцність і краща стійкість до взаємодії середовища. Особливе місце має той фактор, що в лініях з мідними проводами легше здійснюються і більш надійно працюють контактні з'єднання. Однак необхідність економії міді обумовлює переважне застосування проводів і кабелів з алюмінієвими жилами.

Переріз проводів визначають на основі:

- мінімально допустимої напруги на джерелах світла (розрахунок по втраті напруги);

- мінімального розходу провідникового матеріалу (розрахунок на мінімум провідникового матеріалу);

- струму навантаження згідно допустимої температури нагрівання проводів (розрахунок по струму навантаження);

- механічної міцності проводів і кабелів (вибір січення проводів по механічній міцності).

Із отриманих перерізів провідників по вище вказаним показникам вибирають найбільше. Попередньо до розрахунку перерізу проводів по струму навантаження і втраті напруги необхідно розрахувати встановлену потужність і розрахункове навантаження по окремим груповим лініям, щиткам і лініям мережі живлення.

Встановлену потужність освітлення P_y визначають як суму потужностей всіх ламп, які живляться відповідною ділянкою сітки, а для світильників з газорозрядними лампами до потужності ламп добавляють втрати в ПРА: для люмінесцентних ламп при стартерних схемах включення - 20 %, при безстартерних ПРА – 30 %, для ламп типу ДРП – 10 % від потужності ламп. При розрахунку групових ліній враховується одночасне навантаження на всі світильники, тобто розрахункове навантаження P_p, рівне встановленій потужності. Для визначення розрахункового навантаження сітки живлення вводиться коефіцієнт споживання k_c, який дорівнює відношенню розрахункового навантаження до встановленої потужності:

$$P_p = P_y \cdot k_c, . \qquad (9.1)$$

При відсутності даних, заснованих на спеціальних дослідженнях, коефіцієнт споживання k_c приймається рівним:

1,0 – для невеликих виробничих і суспільних будівель, торговій приміщень і ліній , зовнішнього освітлення, для ліній, які живлять окремі групові щитки незалежно від їх навантаження і призначення приміщення, яке освітлюється;

0,95 – для виробничих будівель, які складаються із багатьох окремих приміщень;

0,8 – для адміністративно-побутових, інженерно-лабораторних і інших корпусів;

0,6 – для складських будівель, які складаються з багатьох окремих приміщень.

Розрахункові навантаження для ліній живлення житлових будинків визначають виходячи із питомого навантаження на одну квартиру і числа квартир, які живляться від однієї лінії.

Напруга, що підводиться до лампи, значно впливає на її світловий потік: зменшення напруги викликає зниження світлового потоку. Тому в Правилах ПУЕ регламентується допустима напруга на лампах. В електричних освітлювальних мережах робочого освітлення виробничих і суспільних будівель, а також в мережах, які живлять прожекторні установки

зовнішнього освітлення, на найбільш віддалених лампах повинна гарантуватись напруга не нижче 97,5 % від номінальної. В мережах зовнішнього освітлення, в мережах житлових будинків, аварійного освітлення допускається зниження напруги на найбільш віддалених лампах до 95 %. Найбільша напруга на лампах не повинна перевищувати 105 % від їх номінальної напруги. В мережах пониженої напруги (12 і 42 В), починаючи від виводів обмотки трансформатора, допускається збільшення втрат напруги до 10 %.

Повні втрати напруги визначаються внутрішніми втратами в трансформаторі і втратами в електричній мережі. При змінному струмі опір провідників більше їх опору при постійному струмі, що пояснюється наявністю поверхневого ефекту і ефекту близькості. Вплив цих двох факторів на опір провідників – в освітлювальних мережах дуже малий, що дозволяє при розрахунках освітлювальних мереж приймати активний опір проводів рівним їх опору при постійному струмі. Для освітлювальних мереж з високим коефіцієнтом потужності, які прокладаються в приміщеннях, а також кабельних мереж вплив індуктивного опору лінії на втрату напруги дуже малий. Тому індуктивний опір не враховується в приміщеннях, а також зовнішніх кабельних мереж.

Розглянемо однорідну двопровідну мережу змінного струму (рис. 9.1.).

При навантаженні вираженому в кВт, величину втрати напруги $\Delta U\%$ у відсотках від номінальної напруги можна розрахувати за формулою:

$$\Delta U\% = \frac{2 \cdot 10^5}{\gamma \cdot S \cdot U_\phi} \sum P \cdot D, . \qquad (9.2)$$

де P – потужність навантаження, кВт; D – довжина лінії живлення, м; S – січення провідника, мм^2; γ – питома провідність провідника, 1/(мм·м); U_ϕ – напруга мережі (вважається напруга мережі в точках прикладання навантаження такою, що дорівнює номінальній).

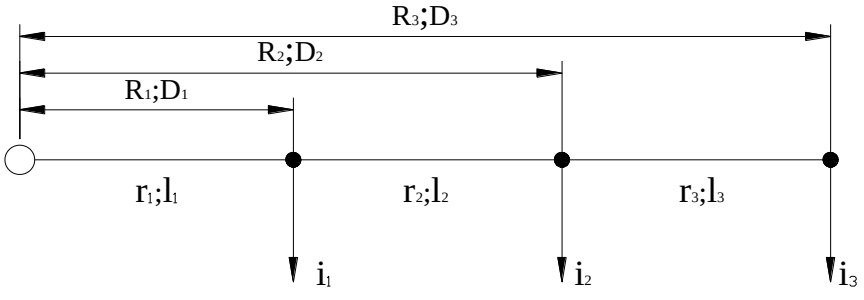


Рис. 9.1. Схема двопровідної мережі змінного струму.

Добуток *PD* зазвичай називається моментом навантаження і позначається буквою *M*. Тоді рівняння (9.2) матиме вигляд:

$$\Delta U\% = \frac{\sum M}{c \cdot S}, \qquad (9.3)$$

де коефіцієнт

$$c = \gamma \cdot \frac{\Delta U_\phi}{2} \cdot 10^{-5}. \qquad (9.4)$$

Отже, втрата напруги в мережі залежить від суми моментів навантаження M, січення проводів S, та постійного для даної мережі коефіцієнта c, який залежить від матеріалу проводу, напруги мережі і числа проводів. Згідно формули (9.3) втрата напруги не залежить від коефіцієнта потужності.

Порядок виконання роботи

1.Розрахувати втрату напруги двопровідної мережі, схему якої представлено на рис. 9.2. Значення довжин та потужностей прийняти у відповідності до таблиці 9.1.Січення проводів прийняти 6 мм^2.

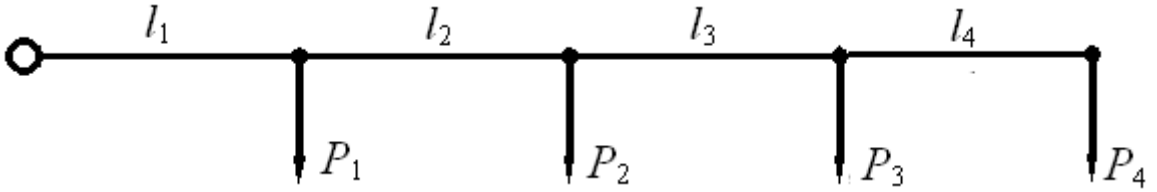


Рис. 9.2

Контрольні запитання

1. В чому полягає розрахунок електричних освітлювальних мереж?
2. На основі чого визначають переріз проводів?
3. Як визначається коефіцієнт попиту?
4. Як визначається момент навантаження?
5. Від яких величин залежить втрата напруги в мережі?

Таблиця 9.1

№ вар	P_1, Вт	P_2, Вт	P_3, Вт	P_4, Вт	l_1, м	l_2, м	l_3, м	l_4, м	Втрати в ПРА, %	cosφ	Матеріал
0	500	600	700	800	100	50	80	90	10	60	Cu
1	400	500	600	200	90	40	70	80	15	70	Al
2	300	400	500	600	80	30	60	70	20	80	Cu
3	800	300	400	500	70	20	50	60	30	90	Al
4	700	200	300	700	60	10	40	50	15	95	Cu
5	600	100	200	900	50	100	30	40	17	70	Al
6	800	100	100	400	40	90	20	30	22	55	Cu
7	700	200	300	200	30	80	10	20	30	50	Al
8	400	300	400	700	20	70	100	10	18	95	Cu
9	100	400	500	300	10	60	90	100	10	50	Al

Лабораторна робота № 10
Розрахунок електричної освітлювальної мережі на мінімум провідникового матеріалу

Мета роботи: Проведення розрахунку електричної освітлювальної мережі на мінімум провідникового матеріалу.

Теоретичні відомості

Оптимального по економічних показниках є мережа, в якій розхід провідникового матеріали мінімальний, що в більшості випадків досить часто співпадає з мінімумом затрат на освітлювальну мережу. Переріз проводів кожної ділянки мережі визначається за втратою напруги від початку даної ділянки до кінця мережі і приведеному моменту M_n, що визначають за формулою:

$$M_n = \sum M + \alpha \sum m, \qquad (10.1)$$

де $\sum M$ − сума моментів даної і всіх наступних за напрямком струмів ділянок з тою ж кількістю проводів в лінії, що і на даній ділянці; $\sum m$ − сума моментів, що живляться через дану ділянку лінії з іншою кількістю проводів, ніж на даній ділянці; α − коефіцієнт приведення моментів, значення його приведені в табл. 4.2 [2], ст. 124.

Переріз проводів S ділянки електричної мережі, що розраховується на мінімум провідникового матеріалу, визначають за формулою:

$$S = \frac{M_n}{c \cdot \Delta U}, \qquad (10.2)$$

де M_n − приведений момент, кВт м; c − коефіцієнт, що залежить від системи мережі [2], ст. 117, табл. 4.1; ΔU − значення максимальної втрати напруги від номінальної напруги, %.

Користуючись даним рівнянням, визначають переріз головної ділянки. Закруглюючи розрахований переріз до ближчого більшого по стандарту, знаходять фактичну втрату напруги на головній ділянці по величині моменту навантаження на довжину головної ділянки. Наступні ділянки розраховуються аналогічно на втрату напруги, що залишилась. При роздільному розрахунку мереж живлення і групової відповідний розподіл між ними ΔU знаходять наближено, виходячи з очікуваного відношення моментів і враховуючи α.

Порядок виконання роботи

1. По останній цифрі залікової книжки вибрати вихідні дані до розрахунку мережі, представленої на рис. 10.1 з таблиці 10.1.

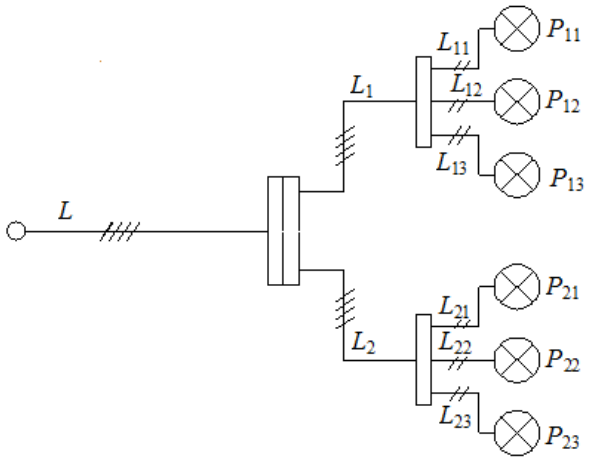


Рис. 10.1.

Таблиця 10.1

Параметри для розрахунку	Остання цифра залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L, м	40	50	60	70	80	90	120	140	150	180
Тип мережі з довжиною L	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
L_1 , м	90	80	70	60	50	40	30	20	100	110
Тип мережі з довжиною L_1	1	3	5	1	3	5	1	3	5	5
L_{11}, м	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90
Тип мережі з довжиною L_{11}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
L_{12}, м	90	85	80	75	70	65	60	40	30	20
Тип мережі з довжиною L_{12}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
L_{13}, м	15	30	45	60	75	90	15	30	20	20
Тип мережі з довжиною L_{13}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
L_2, м,	110	90	70	60	50	40	15	30	20	20
Тип мережі з довжиною L_2	5	3	1	5	3	1	5	3	1	1
L_{21}, м	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Тип мережі з довжиною L_{21}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
L_{22}, м	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Тип мережі з довжиною L_{22}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
L_{23}, м	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Тип мережі з довжиною L_{23}	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
P_{11}, кВт	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
P_{12}, кВт	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
P_{13}, кВт	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
P_{21}, кВт	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
P_{22}, кВт	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
P_{23}, кВт	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
Матеріал мережі	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al

*Примітка. Тип мережі: 1 – трифазна з нулем; 2 – трифазна; 3 – двофазна з нулем; 4 – двофазна; 5 – двопровідна.

2. Розрахувати на мінімум провідникового матеріалу дану мережу за формулами 10.1 та 10.2. Втрату напруги ΔU прийняти рівною 5 %, а втрати в ПРА – 20 %.

3. Вибрати січення проводів для всіх віток даної мережі, користуючись довідниковими даними.

4.

Контрольні запитання

1. Яка мережа по економічних показниках є оптимальною?

2. Яким чином розраховується переріз проводів кожної ділянки мережі на мінімум провідникового матеріалу?

3. Як залежить переріз проводу від значення максимальної втрати напруги?

4. Як залежить переріз проводу від матеріалу та типу мережі?

Лабораторна робота № 11
Розрахунок електричної освітлювальної мережі по струму навантаження

Мета роботи: Проведення розрахунку електричної освітлювальної мережі по струму навантаження.

Теоретичні відомості

Розрахунок проводів по струму навантаження зводиться до визначення струму, при довготривалому протіканні якого нагрів провідників не перевищить значень встановлених ПУЕ для певної конструкції проводів. В електричних довідниках і ПУЕ наведені таблиці допустимих по умовах нагріву струмових навантаженнях на проводи і кабелі з алюмінієвими і мідними жилами в залежності від виду ізоляції, січення провідників, числа сумісно прокладених струмопровідних жил, способів і умов прокладки.

Для даної марки провідника і певних умов прокладки встановлена температура жил провідників залежить лише від густини струму, що дозволяє розрахунковим часом визначити для кожного січення оптимальне значення струму. Довготривале протікання якого не викликає перегріву провідника, передбаченого вимогами ПУЕ.

Із збільшенням січення збільшуються допустимі струми $I_Д$, однак збільшення струму при збільшенні січення жил помітно менші, ніж його можливості збільшення при більшій кількості жил меншого січення. Це дає змогу зрозуміти, що при умові нагрівання буває доцільніше замість однієї лінії великого січення прокладати дві або більше меншого січення, що дозволяє зменшити розхід провідниковою матеріалу.

Значення робочого струму $I_р$ в залежності від конфігурації електричної мережі визначається по формулах:

- для трифазної електромережі з нульовим проводом або без нього при рівномірному навантаженні фаз:

$$I_р = \frac{10^3 \cdot P_р}{\sqrt{3} \cdot U_л \cdot \cos\varphi}; \qquad (11.1)$$

- для двофазної електромережі з нульовим проводом при рівномірному навантаженні фаз:

$$I_p = \frac{10^3 \cdot P_p}{2 \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi}; \qquad (11.2)$$

- для двопровідної електромережі:

$$I_p = \frac{10^3 \cdot P_p}{U_\phi \cdot \cos\varphi}; \qquad (11.3)$$

- для кожної із фаз дво- і трифазної електромережі з нульовим проводом при будь-якому, в тому числі і нерівномірному навантаженні:

$$I_p = \frac{10^3 \cdot P_p}{U_\phi \cdot \cos\varphi}, \qquad (11.4)$$

де P_p − розрахункове навантаження із врахуванням втрат в ПРА, кВт; U_ϕ − фазова напруга, В; $U_л$ − лінійна напруга, В; $\cos\varphi$ − коефіцієнт активної потужності навантаження.

По допустимому нагріву провідників перевіряються всі ділянки електричної освітлювальної мережі. При цьому:

$$I_H \geq I_p, \qquad (11.5)$$

де I_H − максимально допустимий струм по умовах нагріву провідника, А.

Виконання цієї умови гарантує пожежну безпеку і нормований термін служби проводки при нормальних неаварійних режимах.

При рівномірному навантаженні фаз струм в нульовому проводі трифазної мережі при живленні ламп розжарення дорівнює нулю, струм який живить газорозрядні лампи, може досягати величини фазового струму. При значній нерівномірності навантаження необхідно визначити струм і січення провідників для кожної фази.

Для трифазних ліній з включенням навантаження на лінійну напругу лінійні струми I_A, I_B, I_C залежать від порядку слідування фаз (А – В − С або В – А − С). При прямому слідуванню фаз:

$$\begin{aligned} I_A &= \sqrt{I_{AB}^2 + I_{CA}^2 + 2I_{AB} \cdot I_{CA} \cdot \sin\ \varphi_{AB} - \varphi_{CA} + 30^\circ}\ ; \\ I_B &= \sqrt{I_{BC}^2 + I_{AB}^2 + 2I_{BC} \cdot I_{AB} \cdot \sin\ \varphi_{BC} - \varphi_{AB} + 30^\circ}\ ; \\ I_C &= \sqrt{I_{CA}^2 + I_{BC}^2 + 2I_{CA} \cdot I_{BC} \cdot \sin\ \varphi_{CA} - \varphi_{BC} + 30^\circ}\ . \end{aligned} \qquad (11.6)$$

При оберненому слідуванні фаз в кожній з цих формул необхідно поміняти місцями індекси кутів (АВ і СА, ВС і АВ, СА і ВС). Оскільки порядок слідування фаз при проектуванні невідомий і може змінюватись в

процесі експлуатації, лінійні струми необхідно визначати для двох варіантів слідування фаз.

Порядок виконання роботи

1. По останній цифрі залікової книжки вибрати вихідні дані до розрахунку мереж з таблиці 11.1.
2. За формулами (11.1) – (11.4) розрахувати робочі струми мереж. При цьому прийняти, що $U_ф = 220\,\text{В}$, $U_л = 380$ В.
3. Користуючись довідниковими даними та умовою (11.5), вибрати січення проводів для заданих матеріалів.

Контрольні запитання

1. Як змінюється допустимий струм по умовах нагріву із збільшенням січення провідників?
2. В залежності від яких параметрів визначається значення робочого струму?
3. В яких випадках необхідно визначати струм і січення проводів для кожної фази?
4. Формула для визначення струмів при прямому слідуванні фаз.
5. Формула для визначення струмів при оберненому слідуванні фаз.
6. Виконання якої умови гарантує пожежну безпеку і нормований термін служби проводки при нормальних неаварійних режимах?

Таблиця 11.1

Параметри для розрахунку		Остання цифра залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мережа 1	Тип мережі*	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
	Сумарна потужність споживачів, кВт	1	2	3	4	5	6	7	8	5	10
	Втрати в ПРА, %	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
	cosφ	60	70	80	90	95	55	75	65	75	70
Мережа 2	Тип мережі*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
	Сумарна потужність споживачів, кВт	5	5	15	20	4	10	15	2	5	10
	Втрати в ПРА, %	20	30	10	20	10	20	30	20	10	20
	cosφ	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,55	0,9	0,8	0,7	0,6
Мережа 3	Тип мережі*	3	1	3	3	1	3	3	1	3	3
	Сумарна потужність споживачів, кВт	1	20	2	3	20	4	5		6	2
	Втрати в ПРА, %	30	10	20	20	10	20	30	10	20	10
	cosφ	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,9	0,8	0,6	0,5
Матеріал мережі		Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al

*Примітка. Тип мережі: 1 – трифазна з нулем при рівномірному навантаженні; 2 – двофазна з нулем при рівномірному навантаженні; 3 –двопровідна.

Лабораторна робота № 12
Розрахунок споживання електричної енергії освітлювальною установкою

Мета роботи: Проведення розрахунку кількості та вартості електроенергії, яка споживається освітлювальною установкою

Теоретичні відомості

Вартість електроенергії $Ц_{ее}$, яка споживається освітлювальною установкою, розраховується за формулою:

$$Ц_{ее} = k_{ПРА} \cdot \mathrm{K}_n \cdot P \cdot T_g \cdot C \cdot 1 + \Delta U / 100 , \quad (12.1)$$

де $k_{ПРА}$ – коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії в ПРА; P – встановлена потужність; T_g – кількість годин роботи в рік; K_n – коефіцієнт попиту; ΔU – втрата напруги в мережі до середньої лампи; C – тариф на електроенергію.

Втрати в ПРА, в залежності від типів джерел світла та схем ї включення становлять:

для ЛЛ при стартерному включенні – 20% від потужності ламп;

при безстартерних ПРА –30% від потужності ламп;

для ламп типу ДРЛ – 10% від потужності ламп.

При розрахунку групових ліній враховується одночасно навантаження на всі світильники, тобто розрахункове навантаження P_p дорівнює встановленій потужності.

В залежності від системи обліку електроенергії на підприємстві тариф на електроенергію може становити:

1) при розрахунках за електроенергію за двозонними тарифами:

- 0,7 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23-ї години до 7-ї години);
- повний тариф в інші години доби.

2) при розрахунках за електроенергію за тризонними тарифами:

- 1,5 тарифу в години максимального навантаження енергосистеми - піковий період (з 8-ї години до 11-ї години і з 20-ї години до 22-ї години);
- повний тариф у напівпіковий період (з 7-ї години до 8-ї години, з 11-ї години до 20-ї години, з 22-ї години до 23-ї години);
- 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23-ї години до 7-ї години).

Порядок виконання роботи

1. По останній цифрі залікової книжки з таблиці 12.1 вибрати вихідні дані до розрахунку споживання електроенергії промисловою освітлювальною установкою.
2. Згідно марки світильника та його паспортних даних визначити втрати електричної енергії в ПРА.
3. За формулами (12.1) та (12.2) розрахувати кількість споживаної електроенергії, а також її вартість при розрахунку за однозонним, двозонним

та тризонними тарифами. Втрати напруги ΔU в мережі прийняти такими, що дорівнюють 5 %.

4. На основі результатів розрахунків зробити висновки про застосування системи обліку електроенергії для даної освітлювальної установки.

Контрольні запитання

1. Від чого залежить вартість електроенергії, яка споживається освітлювальною установкою?
2. Для чого вводиться коефіцієнт попиту?
3. Чим визначаються втрати в ПРА?
4. В залежності від чого на підприємстві може змінюватись тариф на електроенергію?
5. Яка із систем обліку електроенергії є найбільш вигіднішою, якщо споживання електроенергії кожної години протягом доби є незмінним?

Таблиця 12.1.

Остання цифра залікової книжки	Марка СП	Кількість СП	Години роботи	Середня кількість робочих днів на місяць
1	ЖСП-17В-250-582	100	06^{00} – 14^{00} 14^{00} – 22^{00}	20
2	РСП-17В-250-586	50	00^{00} – 24^{00}	22
3	ЖСП-07У-100-121	70	06^{00} – 14^{00} 14^{00} – 22^{00} 22^{00} – 05^{00}	23
4	ЖСП-07У-150-121	60	05^{00} – 09^{00} 10^{00} – 15^{00} 22^{00} – 05^{00}	18
5	РСП-12-700-231	40	08^{00} – 17^{00} 20^{00} – 22^{00} 00^{00} – 05^{00}	15
6	РСП-16-400-231	30	00^{00} – 6^{00} 07^{00} – 15^{00} 16^{00} – 22^{00}	30
7	РСП-20-250-121	50	00^{00} – 24^{00}	20
8	ГСП-04В-400-598	100	00^{00} – 24^{00}	22
9	ГСП-04В-250-598	90	06^{00} – 14^{00} 14^{00} – 22^{00} 22^{00} – 05^{00}	23
0	ЖСП-04В-250-598	80	00^{00} – 24^{00}	25

Лабораторна робота № 13

Дослідження ефективності освітлювальної установки приміщення

Мета роботи: Ознайомлення з нормативними вимогами до освітлення на прикладі освітлення навчальних приміщень, надбання навиків нормування, вимірювання і оцінки ефективності освітлення на робочих місцях.

Теоретичні відомості

Організація раціонального освітлення приміщень є однією з найважливіших задач. Раціональне освітлення забезпечує психологічний комфорт, поліпшує умови праці, підвищує безпеку робіт і одночасно сприяє поліпшенню якості продукції, підвищенню продуктивності праці. При хорошому освітленні очі протягом довгого часу зберігають здатність добре бачити, не стомлюючись. Незадовільне освітлення ускладнює виконання роботи, може призвести до нещасного випадку і захворювання органів зору.

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і одночасно враховувати економічні показники. Одним із параметрів нормування освітлювальних установок є нормована освітленість.

Нормованою освітленістю є найменш допустима освітленість у «найгірших» точках робочої поверхні перед черговим чищенням світильників. Значення цієї освітленості встановлюють в залежності від характеру зорової роботи, розмірів об'єкта різниці, фону і контрасту об'єкта з ним, виду і системи освітлення, типу джерела світла. У нормативних документах наводяться вісім розрядів зорової роботи (таблиця 13.1).

Таблиця 13.1. Розряди зорової роботи

Розряд зорової роботи	Розмір об’єкта розрізнення	Характеристика роботи
I	< 0,15мм	найвищої точності
II	0,15…0,3мм	дуже високої точності
III	0,3…0,5мм	високої точності
IV	0,5…1мм	середньої точності
V	1…5мм	малої точності
VI	> 5мм	дуже малої точності
VII	> 0,5мм	робота з матеріалами, що світяться
VIII		загальне спостереження за ходом технологічного процесу

Всі норми освітленості приведені в державних будівельних нормах ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення» [1].

Розряд зорової роботи визначається кутовим розміром об'єкта розрізнення, тобто відношенням мінімального розміру об'єкта розрізнення *a* до відстані від цього об'єкта до очей працюючого *l*. При відстані від об'єкта

розрізнення до очей працюючого понад 0,5 м розряд робіт встановлюється згідно таблиці 13.2.

Таблиця 13.2

Розряд зорової роботи	Межа відношення a/l
I	Менше $0{,}3\ 10^{-3}$
II	Від $0{,}3\ 10^{-3}$ до $0{,}6\ 10^{-3}$
III	Понад $0{,}6\ 10^{-3}$ до $1\ 10^{-3}$
IV	Понад $1\ 10^{-3}$ до $2.\ 10^{-3}$
V	Понад $2\ 10^{-3}$ до $10\ 10^{-3}$
VI	Понад $10\ 10^{-3}$

Для протяжних об'єктів розрізнення, завдовжки $a>2\ b$, де b– ширина об'єкта, розряд зорових робіт визначається за еквівалентним розміром об'єкта. В інших випадках розряд зорових робіт визначається за мінімальним розміром об'єкта розрізнення.

При відстані від ока до об'єкта, меншій 500 мм, еквівалентний розмір визначається за номограмою, наведеною на рис. 13.1.

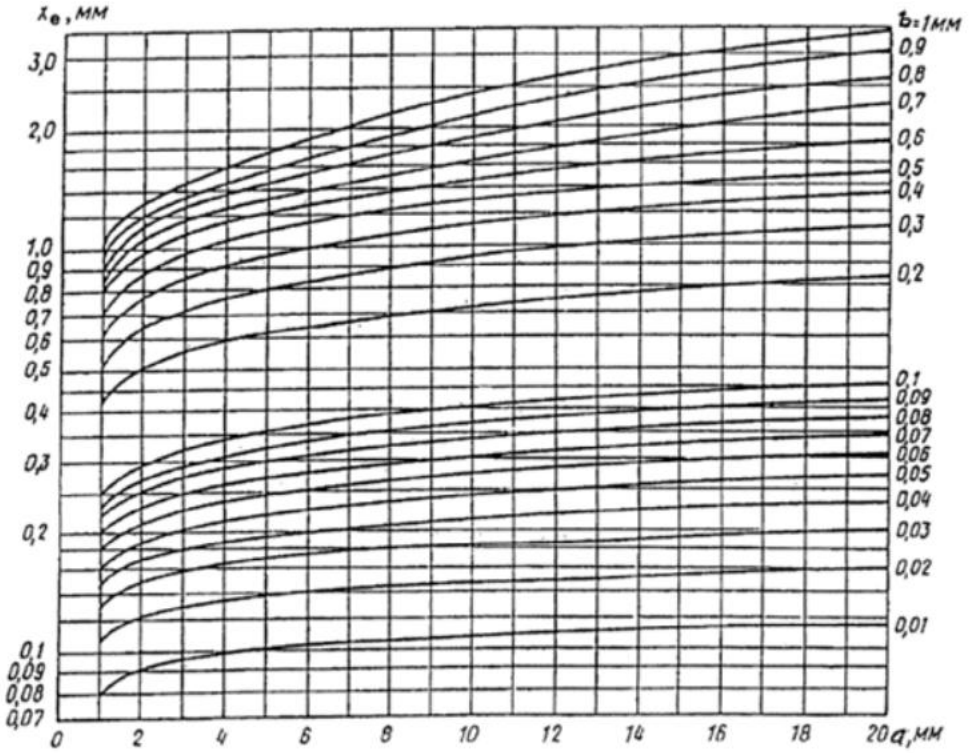


Рис. 13.1. Номограма для визначення еквівалентного розміру протяжних об'єктів розрізнення при відстані від ока до об'єкта до 500 мм

Для кожного із розрядів та під розрядів зорових робіт галузевими нормами встановлено значення нормованої освітленості. Перевірка на відповідність освітлювальної установки здійснюється шляхом співставлення освітленості в приміщенні із її нормованим значенням. Освітленість в приміщенні визначається шляхом розрахунку та вимірювань. Розрахунок освітленості за методом коефіцієнта використання світлового потоку та точковим методом здійснюють у випадках, коли проектується нова

освітлювальна установка або здійснюється модернізація існуючої. Для визначення ефективності існуючої освітлювальної установки приміщення проводяться вимірювання освітленості робочих поверхонь за допомогою люксметра.

В даній лабораторній роботі для вимірювань освітленості застосовується цифровий люксметр типу LX1330B (рис. 13.2). Даний люксметр призначений для вимірювання освітленості в діапазоні від 1 до 200 тис. лк при температурі від -10 до 50 °С. В якості давача сигналу використовується виносний кремнієвий фотодіод із фільтром.

Перед проведенням вимірювань люксметр необхідно увімкнути за допомогою клавіші «*POWER*». Для отримання значень освітленості в люксах використовується клавіша «*LUX/FC*», після натиснення якої в правому нижньому кутку табло повинен появитися надпис «*LUX*». Верхня межа вимірювання люксметра встановлюється за допомогою клавіші «*RANGE*», а фіксація значення виміряної освітленості на табло – за допомогою клавіші «*HOLD*».

Рис. 13.2. Люксметр цифровий типу LX1330B

Порядок виконання роботи

1. Для заданого викладачем приміщення визначити розряд зорової роботи.

2. Із таблиці 5.2 ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення»для отриманого розряду визначити підрозряд зорової роботи, а також нормовані значення освітленості на робочій поверхні від системи загального освітлення, циліндричної освітленості, показника дискомфорту та коефіцієнта пульсації.

3. Із таблиці Д1 ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення» встановити значення нормованої освітленості на робочій площині.

4. Для даного приміщення за допомогою люксметра виміряти значення освітленостей для десяти різних робочих місць.

5. Розрахувати середню освітленість. Порівняти значення отриманої освітленості, а також виміряні значення із нормованими значеннями освітленості, отриманих в пунктах 2 та 3. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке нормована освітленість?
2. Які є розряди зорових робіт?
3. Чим визначається розряд зорової роботи?
4. Як визначити розряд зорової роботи при відстані від об'єкта розрізнення до очей працюючого понад 0,5 м?
5. Як визначити розряд зорової роботи для протяжних об’єктів при відстані від об'єкта розрізнення до очей працюючого понад 0,5 м?

Лабораторна робота № 14

Дослідження ефективності природного освітлення

Мета роботи: Ознайомлення з нормативними вимогами до природнього освітлення, надбання навиків нормування, вимірювання і оцінки ефктивності природнього освітлення наробочих місцях.

Теоретичні відомості

Приміщення з постійним перебуванням людей повинно мати, як правило, природне освітлення. Без природного освітлення допускається проектування приміщень, які визначені державними будівельними нормами на проектування будівельі споруд, нормативними документами з будівельного проектування будівель і споруд окремих галузей промисловості, затвердженими в установленому порядку, а також приміщення, розміщення яких дозволено в підвальних поверхах будівель.

Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє і комбіноване (верхнє і бокове), транспортоване та акумульоване.

Внаслідок різкого коливання зовнішнього світла, його залежності від атмосферних умов і сезону встановити абсолютне значення природної освітленості неможна. Тому за кількісну оцінку характеристики природного освітлення прийнята відносна величина – коефіцієнт природної освітленості (КПО), який визначається відношенням освітленості в даній точці в середині приміщення $E_в$ до одночасно заміряної зовнішньої освітленості $E_з$, створеній світлом повністю відкритого небосхилу:

$$D = \frac{E_в}{E_з} \cdot 100\% \qquad (14.1)$$

Нормовані значення КПО, $D_н$, %, варто визначати залежно від призначення приміщень або розрядів зорових робіт, які виконуються в

приміщеннях. Розряд зорової роботи визначається кутовим розміром об'єкта розрізнення, тобто відношенням мінімального розміру об'єкта розрізнення *a* до відстані від цього об'єкта до очей працюючого *l*.

В приміщеннях житлових і громадських будівлях при боковому освітленні з однієї сторони нормоване мінімальне значення КПО повинно бути забезпечено в розрахунковій точці робочої поверхні, найбільш віддаленій від вікон. Розрахункова точка лежить на перетині робочої поверхні та площини характерного розрізу на відстані 1 м відстіни, протилежної вікнам (рис. 14.1).

При верхньому і комбінованому освітленні нормується середнє значення КПО, яке знаходиться в розрахункових точках (при їх кількості не менше п'яти) характерного розрізу приміщення, причому перша і остання точки знаходяться на відстані 1 м від стін (або середніх рядів колон). Робочою поверхнею є:

- у житлових приміщеннях житлових будинків і гуртожитків, у вітальнях і номерах готелів, в ігрових приміщеннях дошкільних навчальних закладів, у ізоляторах і кімнатах для хворих дітей, у палатах лікарень, госпіталів, у палатах і спальних кімнатах санаторіїв, будинків відпочинку і пансіонатів – підлога;

- у навчальних і навчально-виробничих приміщеннях шкіл, шкіл-інтернатів, професійно-технічних і вищих навчальних закладів I-II рівня акредитації, у кабінетах лікарів, які приймають хворих в оглядових, у приймально-оглядових боксах, у перев’язочних – умовна робоча поверхня, що розташована на висоті 0,8 м над підлогою;

- у інших приміщеннях різного призначення робоча поверхня визначається згідно із додатком Д ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення».

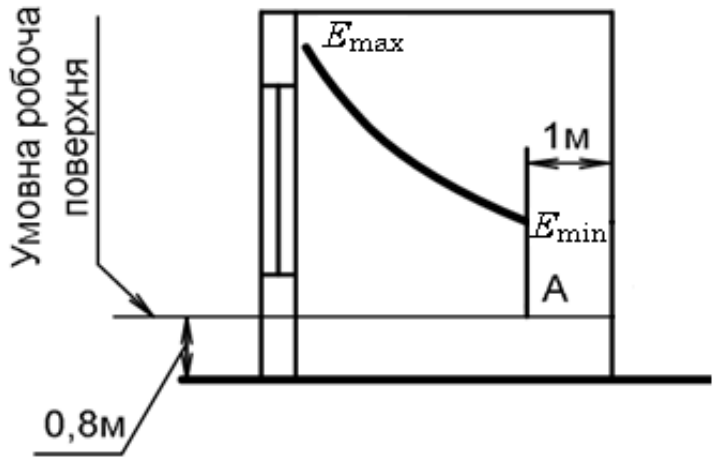


Рис. 14.1. Розподіл природного світла при боковому освітленні

При боковому освітленні приміщень крізь вікна, що розташовані у кількох стінах, за винятком виробничих приміщень глибиною більше ніж 6 м, мінімальне нормоване значення КПО повинно бути забезпечено у

найменш освітленій точці робочої поверхні по характерному розрізу приміщення. При боковому двосторонньому освітленні таких приміщень та однакових вікнах з обох сторін дозволяється за розрахункову точку приймати точку, розташовану в центрі приміщення на перетині вертикальної площини характерного розрізу і робочої поверхні.

При верхньому або комбінованому природному освітленні приміщень різного призначення нормується середнє значення КПО по робочій поверхні та мінімальне значення у найменш освітленій точці робочої поверхні.

Розрахунок проводиться для точок робочої поверхні по характерному розрізу приміщення. Розрахункових точок повинно бути не менше ніж п’ять на прогін.

Перша і остання точки приймаються на відстані 1 м від поверхні стін (перегородок) або осі колон. Точки розташовуються рівномірно. При цьому нерівномірність природного освітлення робочої площини, не повинна перевищувати 3:1.

Нерівномірність природного освітлення не нормується:

- у приміщеннях з боковим освітленням;
- у виробничих приміщеннях з верхнім або комбінованим освітленням, в яких виконуються зорові роботи VII і VIII розрядів;
- у допоміжних приміщеннях громадських будівель з верхнім або комбінованим освітленням, в яких виконуються зорові роботи розрядів Г та Д.

Для деяких приміщень, де виконується зорова робота на певних негоризонтальних поверхнях (наприклад класна дошка у аудиторіях) крім горизонтальної робочої поверхні природне освітлення нормується і на цих поверхнях. Положення додаткових розрахункових точок у цьому випадку визначається відповідно до додатку Д із ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення».

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО), D_N, для будинків, розташованих в різних районах, слід визначати за формулою

$$D_N = D_н \cdot m_N \qquad (14.2)$$

де $D_н$ – значення КПО за таблицями;

m_N – коефіцієнт світлового клімату (таблиця 14.1);

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

Таблиця 14.1

Світлові прорізи	**Орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту**	**Коефіцієнт світлового клімату, *m***	
		Автономна республіка Крим, Одеська обл.	**Решта території України**
В зовнішніх стінах	ПН	0,85	0,90
	ПНС, ПНЗ	0,85	0,90

будинків	З, С	0,80	0,85
	ПДС, ПДЗ	0,80	0,85
	ПД	0,75	0,85
В прямокутних і трапецієподібних ліхтарях	ПН - ПД	0,80	0,80
	ПНС - ПДЗ ПДЗ - ПНЗ	0,75	0,80
	С - З	0,70	0,75
В ліхтарях типу "Шед"	ПН	0,80	0,80
В зенітних ліхтарях	—	0,70	0,80
Примітка. ПН - північ; ПНС - північ-схід; ПНЗ - північ-захід; С - схід; З - захід; ПН-ПД - північ-південь; С-З - схід-захід; ПД - південь; ПДС - південь-схід; ПДЗ - південь-захід			

Основними методами вимірювання параметрів природного освітлення в приміщеннях є геометричний та світлотехнічний методи. Світлотехнічний метод дослідження природного освітлення приміщень полягає у визначення коефіцієнта природної освітленості (КПО).

До геометричних методів відносяться:

1. Визначення світлового коефіцієнта (відношення площі заскленої частини вікон до площі підлоги).

2. Визначення кута падіння α (кут АВС на найбільш віддаленому від вікон робочому місці, утвореного горизонтальною лінією чи площиною АВ від робочого місця для нижнього краю вікна (підвіконня) та лінією (площиною) від робочого місця до верхнього краю вікна АС) (рис. 14.2).

3. Визначення кута отвору γ (кута CAD, під яким з робочої точки видно ділянку неба). Цей кут визначають як різницю між кутом падіння α та кутом затінення β-кутом DAB на робочому ж місці між горизонталлю та площиною від робочого місця до вершини затінюючого об’єкта – будівлі, дерев, гір. Для визначення кута затінення знаходять на вікні точку перетину лінії (чи площини) від робочого місця до вершини затінюючого об’єкту Д, ділять величину катета ВД на АВ (тангенс кута затінення), а в таблиці знаходять кут затінення.

4. Визначення коефіцієнта заглиблення приміщення – відношення відстані від вікна до протилежної стіни, до висоти верхнього краю вікна над підлогою.

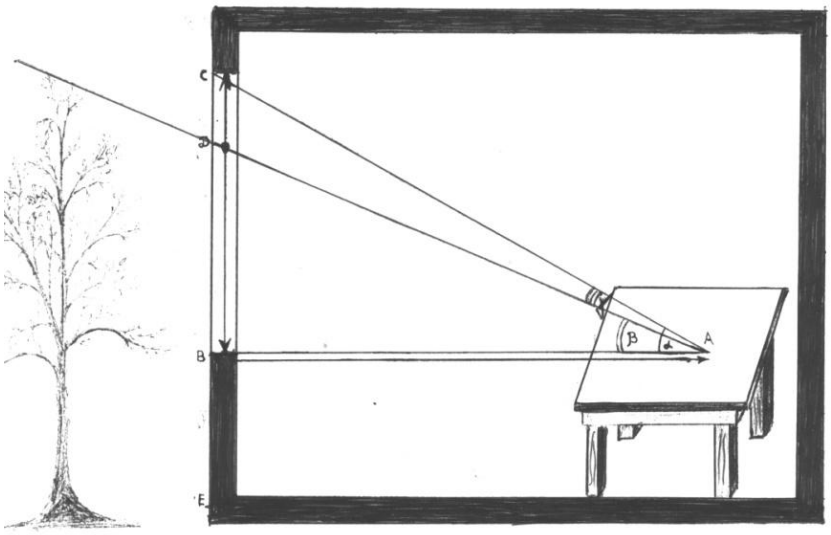


Рис. 14.2. Схема визначення кута падіння та кута отвору

Порядок виконання роботи

1. Для заданого викладачем приміщення визначити розряд зорової роботи по вказівкам, наведених в лабораторній роботі № 13.
2. Із таблиць 5.2 та Д1 ДБН В.2.5-28-2016 «Природне і штучне освітлення» для отриманого розряду визначити підрозряд зорової роботи, а також значення коефіцієнта природної освітленості. За формулою (14.2) розрахувати нормоване значення коефіцієнта природної освітленості.
3. Для даного приміщення за допомогою люксметра LX1330B виміряти освітленість робочої поверхні залежно від відстані між цією поверхнею та стіною із віконним прорізом. Побудувати графік залежності освітленості від відстані.
4. Люксметром LX1330B виміряти освітленість в розрахунковій точці, яка лежить на перетині робочої поверхні та площини характерного розрізу на відстані 1 м від стіни, протилежної вікнам. Отримати у викладача значення зовнішньої освітленості. За формулою (14.1) розрахувати коефіцієнт природної освітленості та порівняти його із нормованим значенням.
5. Визначити параметри природного освітлення за допомогою геометричного методу, наведеного в теоретичних відомостях.

Контрольні запитання

1. Що таке коефіцієнт природної освітленості?
2. В яких точках повинен бути забезпечений мінімальний коефіцієнт природного освітлення?
3. Як нормується нерівномірність природного освітлення?
4. Як визначається нормоване значення коефіцієнта природної освітленості?
5. В чому полягають методи вимірювання параметрів природного освітлення?

Література

1. ДБН В.2.5-28:2016. Природне і штучне освітлення.

2. Г.А.Тищенко. Осветительные установки − М.: Высш. шк. 1984. − 247 с.

3. Г.М.Кнорринг . Осветительные установки − Л.: Энергоиздат.1981. − 288 с.

4. Світлотехнічні установки та системи: конспект лекцій для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання спеціальності 6.090.600 «Світлотехніка та джерела світла» Н.О. Ільїна, Ю.О.Васильєва – Харків: ХНАМГ, 2006.- 104с.

5. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни "Світлотехнічні установки та системи" для студентів напряму підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології. / Уклад.: Я.М. Осадца. – Тернопіль: ТНТУ 2013 – 17 с.

6. Курс лекцій (перша частина) з дисципліни «Світлотехнічні установки та системи» для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / Укл.: Осадца Я.М. – Тернопіль: ТНТУ, 2012.

Для нотаток

Для нотаток